

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

PREHRAMBENO – BIOTEHNOLOŠKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, rujan 2017.god.

Vesna Landeka

752/PI

**ULTRAZVUKOM
POTPOMOGNUTO SUŠENJE
BUČE U VAKUUM SUŠARI**

Ovaj diplomski rad izrađen je u okviru projekta (kratkotrajna potpora) **Sveučilišta u Zagrebu** pod Nazivom „Utjecaj ultrazvuka visokog intenziteta na brzinu difuzije vode voća sušenog pod vakuumom“ i sufinanciran sredstvima **Fonda za zaštitu okoliša i energetske učinkovitost** u vidu financijskih sredstava pomoći ostvarenih temeljem prijave na javni poziv za neposredno sufinanciranje istraživačkih i razvojnih djelatnosti u području klimatskih promjena (Odluka br. 48947) od 01.prosinca 2015.

Zahvaljujemo se Sveučilištu u Zagrebu te Fondu za Zaštitu okoliša i energetske učinkovitost na ukazanom povjerenju i financijskoj pomoći.

Rad je izrađen u Laboratoriju za tehničku termodinamiku i Laboratoriju za tehnološke operacije na Zavodu za procesno inženjerstvo Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu pod mentorstvom prof.dr.sc. Mladena Brnčića te uz pomoć (Filip Dujmić, dr.sc. te Marko Marelja, mag.).

ZAHVALA

Srdačno zahvaljujem svom mentoru prof.dr.sc. Mladenu Brnčiću i kolegama dr.sc. Filipu Dujmiću i mag. Marku Marelja koji su svojim znanstvenim i stručnim savjetima oblikovali ideju i pomogli pri izradi ovog diplomskog rada. Zahvaljujem na pomoći oko razumijevanja tematike pisanja rada te na pruženoj pomoći i savjetima pri izvedbi eksperimentalnog dijela.

Također, zahvaljujem se Laboratoriju za tehnološke operacije na ustupljenim uređajima te tehničarima Darjanu i Goranu na pruženoj pomoći u provedbi eksperimenata i njihovom posvećenom vremenu.

Želim se zahvaliti svim svojim kolegama i prijateljima koji su svakim danom stvarali lijepe fakultetske uspomene.

Najveću zahvalu za ovo što sam postigla dugujem svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje, poticali me i podržavali kroz sve godine studiranja i radovali se mojim uspjesima.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zagrebu
Prehrambeno – biotehnološki fakultet
Zavod za procesno inženjerstvo
Laboratorij za tehnološke operacije

Diplomski rad

Znanstveno područje: Biotehničke znanosti
Znanstveno polje: Prehrambena tehnologija

ULTRAZVUKOM POTPOMOGNUTO SUŠENJE BUČE U VAKUUM SUŠARI

Vesna Landeka, 752/PI

Sažetak: Sušenje predstavlja najpoznatiji i najučinkovitiji način konzerviranja namirnica te je jedan od najčešćih toplinskih procesa obrade hrane. Međutim, postupci sušenja mogu dovesti do negativnih promjena u strukturi, teksturnim i senzorskim svojstvima hrane. Nove netoplinke metode obrade namirnica sve se više koriste kao nadopuna ili zamjena standardnim metodama koje koristi prehrambena industrija. Primjena ultrazvuka visokog intenziteta predstavlja novu metodu netoplinke obrade hrane i zbog svojeg djelovanja na staničnu strukturu se koristi kao metoda predobrade ili obrade namirnice prije sušenja. Cilj ovog rada bio je ispitati utjecaj ultrazvuka kao predobrade na sušenje uzoraka buče te ih usporediti sa uzorcima netretiranih ultrazvukom. Koristio se ultrazvučni uređaj sa kupelji maksimalne snage 1580 W, frekvencije 37 kHz i amplitude 100%. Sušenje uzoraka provodilo se u vakuum sušari pri temperaturi od 40°C tijekom 180 minuta. Dobiveni rezultati pokazali su da je ultrazvuk visokog intenziteta učinkovit kao metoda obrade prije sušenja zbog očuvanja glavnih karakteristika proizvoda. Također, smanjenjem tlaka povećava se učinak vakuum sušenja pa je tako najveći učinak postignut pri najnižem tlaku. Isto tako duže vrijeme tretiranja rezultira većim utjecajem ultrazvuka na tretirani uzorak, pri čemu ne dolazi do promjene izgleda uzoraka.

Ključne riječi: *ultrazvuk visokog intenziteta, sušenje, buča, tekstura, boja*

Rad sadrži: 51 stranicu, 24 slike, 11 tablica, 45 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je u tiskanom i elektroničkom (pdf format) obliku pohranjen u: Knjižnica Prehrambeno – biotehnološkog fakulteta, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: prof. dr. sc. Mladen Brnčić

Pomoć pri izradi: dr. sc. Filip Dujmić, mag. Marko Marelja

Stručno povjerenstvo za ocjenu i obranu:

1. Prof.dr.sc. Damir Ježek
2. Prof.dr.sc. Mladen Brnčić
3. Doc.dr.sc. Sven Karlović
4. Izv.prof.dr.sc. Sandra Balbino (zamjena)

Datum obrane: 28. 09. 2017.

BASIC DOCUMENTATION CARD

Graduate Thesis

University of Zagreb
Faculty of Food Technology and Biotechnology
Department of Process Engineering
Laboratory for Unit Operations

Scientific area: Biotechnical Sciences

Scientific field: Food Technology

DRYING OF SQUASH IN VACUUM DRIER ASSISTED WITH ULTRASOUND

Vesna Landeka, 752/PI

Abstract: Drying is the most famous and effective method of preserving foodstuff and is one of the most common heat treatment of food. However, such methods may lead to the negative changes in structure, texture and sensory characteristics of foods. New non-thermal technologies for processing of foodstuff is more and more used as replacement or supplement to standard thermal technologies used in food industry. Application of high-intensity ultrasound in food processing presents a novel non-thermal method and because of its impact on the cellular matrix is used as a pretreatment method for drying of foodstuff. The aim of this work was to examine the impact of ultrasound as a pretreatment on drying samples of squash and compare them with ultrasound untreated samples. Ultrasound device working at a frequency of 37 kHz with a power capacity of 1580 W and amplitude 100% was used for ultrasound pretreatment. Drying was performed in a vacuum dryer, at the temperature of 40°C during 180 minutes. The results showed that high-intensity ultrasound is efficient as a pre-drying method for preserving the main characteristics of the product. Also, the effect of the vacuum drying increases by reducing the pressure, so the best effect is achieved at the lowest pressure. Longer treatment time results in a greater impact of the ultrasound on the treated sample, which doesn't change the appearance of the samples.

Keywords: *high-intensity ultrasound, drying, squash, texture, colour*

Thesis contains: 51 pages, 24 figures, 11 tables, 45 references

Original in: Croatian

Graduate Thesis in printed and electronic (pdf format) version is deposited in: Library of the Faculty of Food Technology and Biotechnology, Kačićeva 23, Zagreb

Mentor: Ph. D. Mladen Brnčić, Full professor

Technical support and assistance: Ph. D. Filip Dujmić, mag. Marko Marelja

Reviewers:

1. Ph.D. Damir Ježek, Full professor
2. Ph.D. Mladen Brnčić, Full professor
3. Ph.D. Sven Karlović, Assistant professor
4. Ph.D. Sandra Balbino (substitute), Associate professor

Thesis defended: September 28 2017

SADRŽAJ

1.	UVOD	1
2.	TEORIJSKI DIO	3
2.1.	MUŠKATNA BUČA (<i>Cucurbita moschata</i>)	3
2.1.1.	Opće karakteristike.....	3
2.1.2.	Kemijski sastav	4
2.1.3.	Ljekovitost buče	5
2.1.4.	Ostale vrste buče	5
2.2.	SUŠENJE.....	7
2.2.1.	Vakuum sušenje	10
2.3.	ULTRAZVUK.....	12
2.3.1.	Podjela ultrazvuka	12
2.3.2.	Karakteristike zvučnog vala	14
2.3.3.	Ultrazvučne kupelji	15
2.3.4.	Kavitacija	16
2.3.5.	Ultrazvuk kao predtretman sušenju.....	17
2.3.6.	Primjena ultrazvuka u prehrambenoj industriji	19
2.4.	FIZIKALNA SVOJSTVA NAMIRNICA.....	21
2.4.1.	Boja	21
2.4.2.	Analiza teksture.....	21
3.	EKSPERIMENTALNI DIO.....	23
3.1.	MATERIJAL	23
3.1.1.	Priprema uzoraka.....	23

3.2. METODE RADA	23
3.2.1. Određivanje boje	23
3.2.2. Obrada ultrazvukom	24
3.2.3. Sušenje u vakuum sušari	25
3.2.4. Fotografiranje uzoraka	26
3.2.5. Analiza teksture	26
4. REZULTATI I RASPRAVA	27
4.1. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA NETRETIRANIH ULTRAZVUKOM	27
4.2. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA PREDTRETIRANIH ULTRAZVUKOM ...	29
4.3. KOLORIMETRIJA	31
4.4. ANALIZA TEKSTURE	34
4.5. DIGITALNA FOTOGRAFIJA	40
5. ZAKLJUČCI	46
6. LITERATURA	47

1. UVOD

Povrće zbog svojih nutritivnih svojstava predstavlja značajnu ulogu u ljudskoj prehrani. Bilo kao svježi plod ili obrađeno raznim tehnikama, povrće predstavlja glavni izvor biološki aktivnih tvari, vitamina, minerala, vlakana i drugih visokovrijednih sastojaka. Kako bi se dobili različiti proizvodi, a samim time kako bi se i povrće sačuvalo od kvarenja, podvrgavamo ga konzerviranju. Konzerviranje označuje različite procese kojima je svrha da se u što većoj mjeri i tijekom što duljega razdoblja očuva izvorna kvaliteta nekog proizvoda, odnosno da se spriječi njegovo kvarenje i degradacija. Najpoznatiji i najučinkovitiji način konzerviranja predstavlja sušenje. Postupkom sušenja se trajnost proizvoda produlji, ali mogu nastati i nepoželjne promjene u boji, teksturi te može doći do djelomičnog gubitka nutritivnih tvari. Spori prijenos vlage obično je jedan od glavnih čimbenika koji su odgovorni za dugi proces sušenja, što utječe i na kvalitetu proizvoda i na potrošnju energije (Mulet i sur., 2011).

U posljednje vrijeme znanstvena istraživanja su sve više usmjerena na razvoj različitih novih tehnika obrade hrane kojima je moguće dobiti proizvode visoke kvalitete. Pokazuje se veliki interes za razvoj postupaka koji omogućuju minimalnu obradu hrane čija je svrha da se u što većoj mjeri očuvaju izvorne karakteristike, trajnost, kvaliteta i nutritivna vrijednost hrane. Postupci minimalne obrade hrane mogu u potpunosti zamijeniti neke konvencionalne postupke, te dolazi do očuvanja kvalitete hrane, smanjuje se trajanje procesa i samim time se postiže ušteda energije.

U prehrambenoj industriji danas se sve više koriste tzv. netoplinke tehnologije kao što su: visoki hidrostatski tlakovi, ultrazvuk visokog intenziteta, oscilirajuća magnetska polja, pulsirajuća električna polja, pulsirajuće svjetlo i dr. (Brnčić i sur., 2009; Carbonell Capella i sur., 2017). Primjena ultrazvuka visokog intenziteta smatra se jednom od najcjenjenijih netoplinskih tehnologija. Istraživanja su pokazala učinkovito djelovanje ultrazvuka na očuvanje organoleptičkih i nutritivnih svojstava hrane u kratkom vremenu trajanja procesa pri sobnoj temperaturi. Ultrazvuk visokog intenziteta se u prehrambenoj industriji koristi prilikom unaprjeđenja operacija ekstrakcije, emulgiranja, homogenizacije, prosijavanja, sušenja, filtracije itd. Može se koristiti kao postupak koji se provodi prije nekih drugih operacija, npr. kao predtretman prije sušenja. Ovakav tretman, tj. ultrazvučna predobrada daje mnoge pozitivne učinke na kvalitetu konačnog osušenog proizvoda.

Cilj ovog rada bio je ispitati na koji način djelovanje ultrazvuka kao predobrade, frekvencije 37kHz, amplitude 100% i različitih duljina trajanja tretiranja (10, 30 i 50 min), može utjecati na sušenje uzoraka buče, trajanje i kvalitetu osušenih uzoraka te usporedba istih sa uzorcima koji prije sušenja nisu bili podvrgnuti ultrazvučnom tretmanu.

2. TEORIJSKI DIO

2.1. MUŠKATNA BUČA (*Cucurbita moschata*)

2.1.1. Opće karakteristike

Muškatna buča (*Cucurbita moschata*) je biljka iz roda *Cucurbita* i porodice *Cucurbitaceae* (slika 1). Korijen je vrlo razgranat i glavina se nalazi u površinskom sloju tla, a listovi su krupni i na dugim peteljka. Najpoznatiji kultivar je tzv. 'butternut' tikva koja je sezonska kultura zvonolikog oblika i jarko narančastog mesa, a tradicionalno se koristi i kao ljudska i životinjska hrana. Od davnina je bila neophodna u prehrani ruralnih zajednica i nekih urbanih područja Amerike te u mnogim dijelovima svijeta (Jacobo – Valenzuela i sur., 2011). Postoje brojne kulinarske namjene ove kulture, bilo kao povrće ili sastojak u pripremi hrane kao što su pite, juhe ili kruh (Doymaz, 2007). Sušena buča je relativno novi proizvod na tržištu koji dolazi u obliku rezanaca koji postaju sve više popularni, pomiješanih sa tjesteninom ili umjesto običnih rezanaca u juhi. Nakon što se prokuhaju, mogu se pripremiti i kao salata te u brojnim drugim namjenama.



Slika 1. Plod i presjek ploda buče *Cucurbita moschata* (Anonymus 1)

2.1.2. Kemijski sastav

C. moschata predstavlja važan izvor vitamina A ($20 \pm 4\text{mg/g}$) i pigmenata karotenoida (odakle i potječe narančasta boja ove buče), posebice β – karotena koji je zapravo najveći izvor vitamina A, zbog čega se i naziva često provitamin A, a uz lutein kojeg također nalazimo u ovom povrću, je od izuzetne važnosti sa nutricionističkog stajališta (Gonzalez i sur., 2001). Ostali karotenoidi prisutni u buči su: α – karoten, manji karotenoidi kao što su violaksantin, zeaksantin, β – karoten - 5,6 – epoksid, β – kriptoksantin i luteoksantin. Studije pokazuju da je povrće bogat izvor fenolnih i spojeva s antioksidacijskom aktivnošću koji su prisutni u *C. moschata* (Tamer i sur., 2010). Kemijski sastav je opširnije prikazan u tablici 1:

Tablica 1. Kemijski sastav 'butternut' buče (Jacobo – Valenzuela i sur., 2008).

Spoj	Sadržaj (%)
Voda	79 – 93
Proteini	0,97 – 1,41
Lipidi	0,07 – 0,16
Pektin	0,7
Ukupni karoteni (μgg^{-1})	160 – 1399,4
α -karoten; β -karoten (μgg^{-1})	6 – 47; 0,006 – 2340,00
Lutein (μgg^{-1})	0,03 – 20,6
Vitamin A (mgg^{-1}); vitamin C ($\text{mg}/100\text{g}$)	20; 22,9

2.1.3. Ljekovitost buče

Buča se uzgajaju u cijelom svijetu za uporabu u vidu povrća, ali i lijeka. Tradicionalno se koristi kao lijek u mnogim zemljama poput Kine, Argentine, Indije, Meksika, Brazila i Amerike. *Cucurbita moschata* se često koristi u nekoliko zemalja za kontrolu dijabetesa, kao i za liječenje parazita (Jacobo – Valenzuela i sur., 2011). Njegova popularna medicinska upotreba potaknula je znanstvena istraživanja koja su imala za cilj procijeniti neka od njezinih zdravstvenih učinaka. Tako je utvrđeno nekoliko pozitivnih učinaka ove buče kao što su: antibakterijski, protuupalni te antitumorski učinci. Karotenoidi su od iznimne važnosti jer su povezani sa povećanjem imunološkog odgovora i smanjenjem rizika od degenerativnih bolesti kao što su karcinom, kardiovaskularne bolesti, ateroskleroza te makularna degeneracija povezana sa starošću. Gonzalez i sur. (2001) navode da glavni korisni učinak karotenoida proizlazi iz njihovog antioksidacijskog djelovanja. Oni štite stanice od štetnog djelovanja nestabilnih molekula kisika – slobodnih radikala. Također mogu pružiti zaštitu od nekih vrsta raka tako što ograničavaju rast stanica. Drugi spoj prisutan u ovoj buči, a jednako je povezan s niskim rizikom razvoja degenerativnih bolesti su vitamini A i C.

2.1.4. Ostale vrste buče

Postoje vrste buče koje se međusobno razlikuju po obliku, boji, veličini i okusu, od kojih su najpoznatije *C. maxima*, *C. pepo*, *C. ficifolia*, *C. argyrosperma*. Općenito korijen je vrlo razgranat i glavnina se nalazi u površinskom sloju tla, a listovi su krupni i na dugim peteljka. Osim buče *Cucurbita moschata* ili tzv. muškatne buče, neke od sorti su:

Buča smokvolisna (lat. *Cucurbita ficifolia* Bouche) ima prugastu zeleno – bijelu koru, sličniju lubenici, a listovi su joj slični listu smokve (slika 2). Ima bijelo meso te miris i okus kao nezrela lubenica. Plodovi su joj srednje veličine te se od nje pripremaju voćni kompoti i džem.



Slika 2. Buča smokvolisna (Anonymus 2)

Buča zimska (lat. *Cucurbita mixta Pangalo*) sije se početkom svibnja, nakon opasnosti od mrazeva. Cvjetovi su joj narančaste boje, plodovi isprva zeleno – bijeli, no kako zore tako poprimaju karakterističnu narančasto – krem boju izvana, a jarko narančastu boju iznutra. Plodovi se beru prije prvih mrazeva, obavezno s nekoliko centimetara stabljike jer bez nje brzo počnu truliti.. Na sobnoj temperaturi može ostati sve do proljeća pa se zbog toga i zove zimska buča (slika 3).



Slika 3. Buča zimska (Anonymus 3)

Stočna tikva (lat. *Cucurbita pepo L.*) daje plodove teške 25 – 100kg i kod nas se uzgaja uglavnom za stočnu hranu. Sočno meso vrlo je pogodno za ishranu domaćih životinja tokom zime kada ono predstavlja najznačajniju svježiju stočnu hranu. Stablo je u sredini prazno, vriježasto, na poprečnom presjeku rebrasto i obraslo kratkim bodljama. U povoljnim uvjetima dostiže dužinu do 10m. Listovi imaju duge peteljke i velike, srčolike liske, obrasle sitnim dlakama i na rubu nazubljene (slika 4).



Slika 4. Buča stočna (Anonymus 4)

2.2. SUŠENJE

Sušenje predstavlja najpoznatiji i najučinkovitiji način konzerviranja namirnica. Jedan je od najčešćih toplinskih procesa obrade hrane, a karakterizira ga progresivno smanjenje sadržaja vlage s vremenom u cilju dobivanja suhog proizvoda (Zhang i sur., 2016).

Koristi se od samih početaka civilizacije, a sunce je uvijek bilo primarni izvor energije kojom se sušilo povrće. Na taj način osušeno povrće je po svojim karakteristikama bolje od većine drugih tehnologija, a uz to sunčeva energija potrebna za zagrijavanje je besplatna. Najveći problem solarnog sušenja je ovisnost o vremenu, te se na taj način u većini krajeva može sušiti samo u sušnim ljetnim razdobljima. Drugi problem su niski higijenski standardi prilikom takvog otvorenog sušenja na suncu. Danas se proizvodnja sušenog voća i povrća uglavnom obavlja u sušarama, gdje se postupak može voditi u strogo kontroliranim uvjetima (temperatura, tlak, vlaga itd.), uz pridržavanje visokim standardima higijene (Karlović, 2013).

Danas je teško pronaći bilo koju granu industrije u kojoj se sušenje ne primjenjuje za dobivanje poluproizvoda ili gotovih proizvoda. Osim pružanja mikrobiološke aktivnosti dobivenih proizvoda, sušenje također smanjuje njihovu težinu i volumen, što dovodi do smanjenja troškova skladištenja i transporta (Musielak i sur., 2016). U tom složenom procesu istovremeno se odvijaju procesi prijenosa tvari, količine gibanja i topline. Čvrste tvari suše se isparavanjem vode, pri čemu je vlažnom materijalu potrebno dovesti toplinu. Prema načinu dovođenja topline, razlikujemo sljedeće metode sušenja:

- *konvekcijsko sušenje*, pri čemu je materijal koji se suši u direktnom kontaktu sa strujom plinovitog medija (najčešće zrak),
- *kondukcijsko (kontaktno) sušenje*, pri čemu je materijal koji se suši u kontaktu sa grijanom površinom,
- *radijacijsko sušenje*, kod kojeg se materijal suši toplinom koja se generira unutar materijala, ako ga izložimo visokofrekventnom elektromagnetskom zračenju i na taj način se cijeli volumen materijala istovremeno zagrijava, što rezultira većim brzinama sušenja.

Tijekom procesa sušenja, voda se iz namirnice uklanja u obliku vodene pare pri čemu je glavni cilj sušenja dobiti proizvod porozne otvorene strukture, dobre moći rehidracije te sa što manje promijenjenim organoleptičkim svojstvima s obzirom na početna svojstva sirovine (Ježek i sur., 2008). Budući da se sušenjem smanjuje sadržaj vode, dolazi do fenomena skupljanja koji se definira kao ukupno smanjenje volumena, površine ili debljine prehrambenog materijala podvrgnutog sušenju. Tijekom sušenja mijenja se poroznost materijala koji se suši. To je prvenstveno lokalni fenomen koji ovisi o lokalnom udjelu vode i narušavanju strukture materijala, posebice pora. Smanjenjem volumena i promjenom poroznosti, dolazi i do promjene teksture osušenog materijala. Najveće promjene se očituju u vidu tvrdoće i elastičnosti. Najveći porast tvrdoće očekuje se na samoj površini izloženoj vrućem zraku ili drugom mediju u kojem se suši. Do pojave stvrdnjavanja vanjskog sloja dolazi zbog najmanjeg udjela vlage u vanjskom sloju (Xiao, 2008).

Brzina sušenja ovisi o prijenosu topline iz okoline na površinu vlažnog materijala te prijenosu vlage iz unutrašnjosti prema površini materijala i njezino isparavanje s površine. Uklanjanje vodene pare sa površine materijala ovisi o temperaturi, vlažnosti, brzini strujanja zraka, tlaku itd. Nazivamo ih još i vanjskim uvjetima. Važno je poznavati vanjske uvjete sušenja budući da kod nekih materijala može doći do pretjeranog sušenja i naglog skupljanja materijala što dovodi do njegovog pucanja ili deformacije.

Proces sušenja zrakom kod konstantnih uvjeta okoline može se podijeliti na period konstantne brzine sušenja i jedan ili više perioda padajuće brzine sušenja. Na temelju toga materijale možemo podijeliti na higroskopne i nehigroskopne.

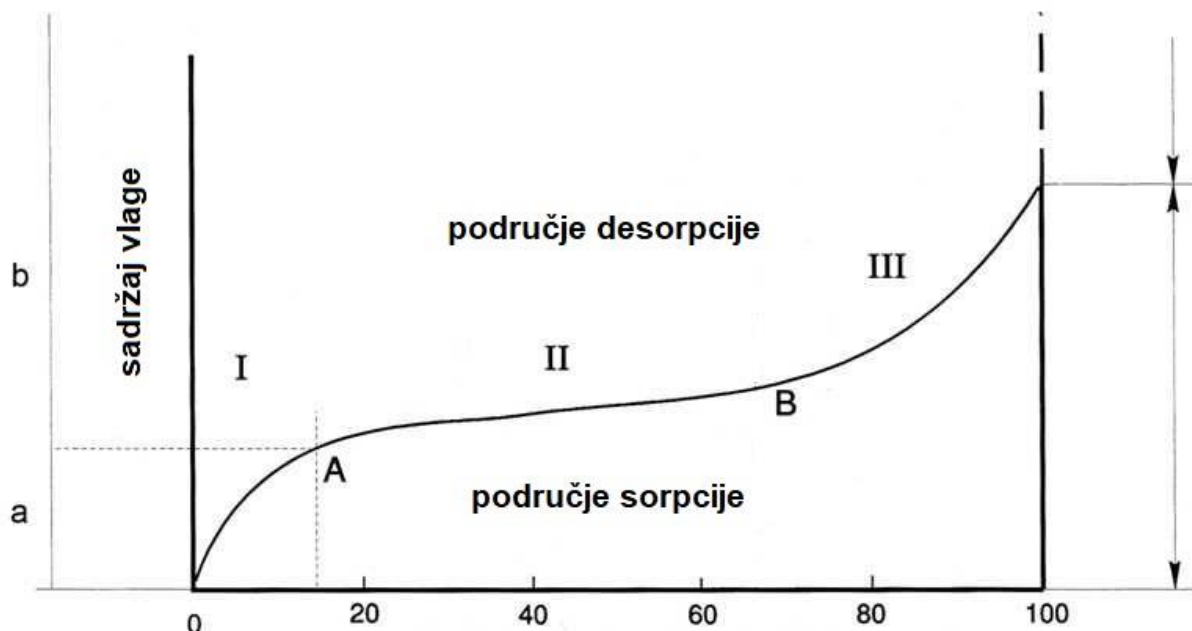
- Za higroskopne materijale je karakteristično da je parcijalni tlak vode u njima manji od tlaka pare čiste vode pri istom kritičnom sadržaju vlage.
- Za nehigroskopne materijale je karakteristično da je parcijalni tlak vode u njima jednak tlaku pare čiste vode.

U periodu konstantne brzine sušenja vlaga je na površini materijala takva da je parcijalni tlak vode iznad materijala jednak parcijalnom tlaku zasićenja pri *temperaturi mokrog termometra*. Period konstantne brzine traje sve dok je dotok vode na površinu materijala takav da se održava konstantna temperatura na toj površini, a tlak vodene pare jednak je tlaku zasićenja pri temperaturi mokrog termometra. U prvom periodu padajuće

brzine dolazi do prijenosa vodene pare iz unutrašnjosti materijala u kojega još uvijek prevladavaju uvjeti zasićenja. Navedeni period završava kad u središtu materijala više ne vladaju uvjeti zasićenja (Ježek i sur., 2008).

Kod nehigroskopnih materijala period padajuće brzine sušenja završava sa potpuno suhim materijalom (sva je prisutna vlaga slobodna). Higroskopni se materijali mogu potpuno osušiti jedino ako zrak ne sadrži vlagu, što u praksi nije nikada slučaj, tako da se kod njih pojavljuje i drugi period padajuće brzine sušenja, koji traje do postizanja ravnoteže (Mujumdar i sur., 1995).

Nakon postizanja željenog udjela vode u namirnici, namirnicu je potrebno na odgovarajući način pakirati i uskladištiti pri čemu je potrebno voditi računa o uvjetima skladištenja. Ako se pri konstantnoj temperaturi mijenja tlak para vode iznad namirnice, doći će i do promjene sadržaja vlage u namirnici u skladu s odvijanjem procesa sorpcije – desorpcija (gubitak vlage iz namirnice) ili adsorpcija (primanje vlage iz zraka). Taj će se proces zbivati do uspostave ravnotežne vlažnosti zraka između namirnice i okolnog zraka. Budući da je proces sorpcije vezan za točno definiranu temperaturu, on se grafički može predložiti izotermama sorpcije (slika 5).



Slika 5. Krivulja izoterme sorpcije (Vareš, 2004)

Područje I – monomolekularni sloj, tzv. monosloj (točka A) označuje graničnu količinu vode u namirnici ispod koje se sva voda nalazi u vezanom obliku.

Područje II – voda je u polimolekularnom sloju, zbog polarnosti molekula, vezana slabim silama na monosloj.

Područje III – voda se nalazi u kapilarama namirnice i relativno lako može sudjelovati u raznim interakcijama

Točka B – označuje vlažnost materijala do kojega se namirnice najčešće suše.

2.2.1. Vakuum sušenje

Vakuum sušenje ili sušenje pod sniženim tlakom je pogodna metoda za sušenje materijala osjetljivih na visoke temperature ili materijale sklone oksidaciji, te u slučajevima kada je materijal jako skup i ima ga u malim količinama pa nije poželjan njegov gubitak (npr. u farmaceutskoj industriji). Smanjenjem tlaka smanjuje se vrelište vlage u krutini, a time se smanjuje brzina štetnih procesa kao što je kemijska razgradnja u prisutnosti većeg sadržaja kisika. Kod vakuum sušenja, sniženjem tlaka, smanjuje se vrelište vode znatno ispod 100°C.

U vakuum sušari vakuum se može postići upotrebom mehaničkog kompresora, vakuum pumpe, strujom vode ili pare. Važno je da se vodena para ili druge isparljive komponente u materijalu kondenziraju da bi se mogao održavati stalni vakuum unutar komore. Toplina se vlažnom materijalu dovodi kroz ogrijevnu površinu koja može biti mirujuća ili pokretna. Isparena vlaga odvodi se iz sušare pomoću inertnog plina (zrak) koji služi kao nositelj vlage. Takve sušare obično se sastoje od zatvorene, najčešće čelične komore, a mogu sadržavati i posebno postavljene police unutar sušare, za što više uzoraka. Nedostatak im je što nisu pogodne za sušenje pri jako niskim temperaturama te se ne preporuča sušenje ispod 40°C. Nisu prikladne za sušenje toksičnih materijala zbog opasnosti koje bi se mogle javiti pri punjenju i pražnjenju uređaja. Što se tiče toplinske djelotvornosti, povoljniji su od konvekcijskih. Jedna od najvećih prednosti vakuum sušenja je to što se vlaga uklanja pri niskim temperaturama čime se smanjuje mogućnost termičke razgradnje produkta, a nedostaci se očituju kroz dugotrajni proces, visoku potrošnju energije i skupu

opremu. U vakuum sušari prijenos topline odvija se zračenjem i eventualno kondukcijom kada se materijal nalazi na toplinski vodljivoj podlozi.

Iako je sušenje jedna od najčešćih metoda obrade hrane, ovakav način obrade može negativno utjecati na kvalitetu osušenog proizvoda. Spori prijenos vlage obično je jedan od glavnih čimbenika koji su odgovorni za dugotrajan proces sušenja, što utječe i na kvalitetu proizvoda i na potrošnju energije (Mulet i sur., 2011). Povećani troškovi energije kao i dugotrajan proces sušenja te povećanje zahtjeva kvalitete proizvoda rezultirali su povećanim zanimanjem za razvoj suvremenih tehnologija sušenja (Mujumdar, 2004, 2006). Relativno novi proces u prehrambenoj industriji koji se koristi za sušenje materijala osjetljivih na toplinu ili kao predtretman sušenju je primjena ultrazvuka (Dujmić i sur., 2013).

2.3. ULTRAZVUK

Obrada hrane ultrazvukom smatra se jednim od novih postupaka obrade hrane. Pod ultrazvukom podrazumijevamo zvučni val s frekvencijama višima od praga osjetljivosti ljudskog sluha (16 – 18kHz). Glavna obilježja tog postupka je dobivanje minimalno obrađene hrane jer dolazi do minimalnog povećanja temperature i relativno je kratko vrijeme obrade (Ninčević Grassino i sur., 2016). Korištenje ultrazvuka u prehrambenoj industriji i prehrambenoj tehnologiji predmet je intenzivnog istraživanja i primjene unazad nekoliko desetaka godina, kao dijagnostičke metode za određivanje različitih svojstava prehrambenih sirovina i proizvoda i kao razorne metode gdje se ultrazvuk koristi kao tehnika kojom se prehrambenoj sirovini ili materijalu mijenjaju fizikalno – kemijska svojstva (Brnčić i sur., 2009).

2.3.1. Podjela ultrazvuka

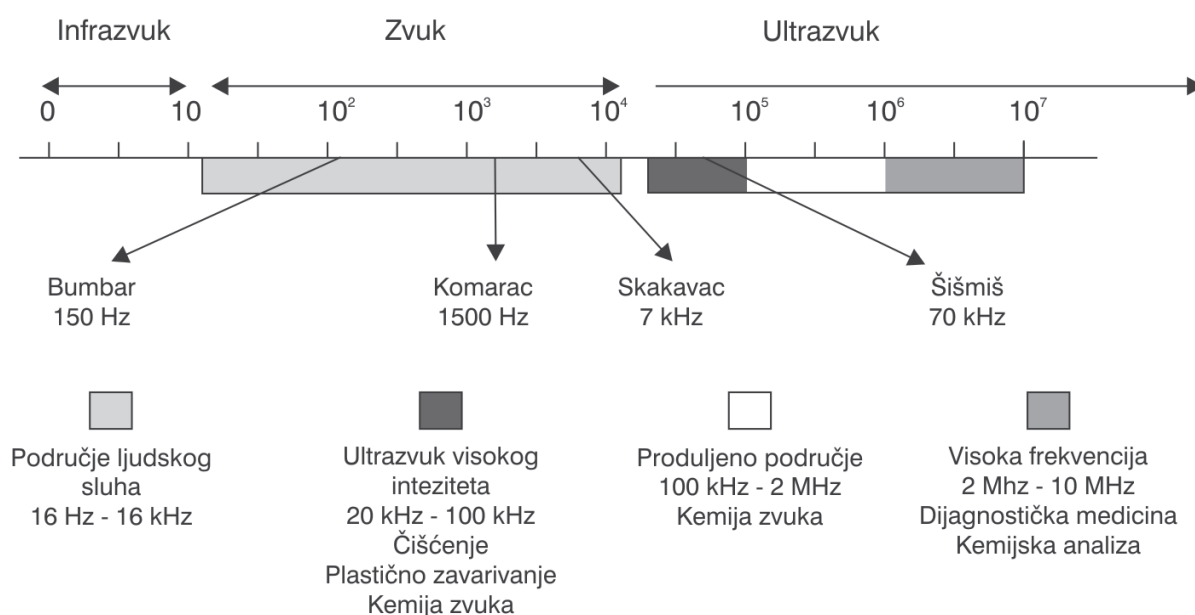
Zvučni valovi mogu se podijeliti s obzirom na frekvenciju u više područja koja određuju njihovu potencijalnu primjenu (slika 6). Primjena ultrazvuka u obradi hrane može se općenito podijeliti na dva područja ovisno o snazi ultrazvučnih valova pa tako razlikujemo:

- dijagnostički ili ultrazvuk niske snage pri kojem su ultrazvučni valovi niskog intenziteta – visoke frekvencije i niske energije
- ultrazvuk visoke snage pri kojem su ultrazvučni valovi visokog intenziteta – niske frekvencije i visoke energije.

Ultrazvučni valovi niskog intenziteta imaju frekvencije od 1 – 10 MHz te vrlo male razine snage (manje od 1 W/cm²). Ovakvi valovi ne uzrokuju fizičke niti kemijske promjene na mediju kroz koji prolaze pa se primjenjuje za medicinsku dijagnostiku, terapijsku medicinu, za neinvazivnu detekciju (kontrolu operacije) i za karakterizaciju fizikalno – kemijskih značajki materijala (procjenu proizvoda i kontrolu) te stimulaciju aktivnosti živih stanica, utjecaj na enzime, ekstrakciju asistiranu ultrazvukom, emulgiranje, kristalizaciju, površinsko čišćenje hrane, operacije sušenja i smrzavanja (Zinoviadou i sur., 2015). Ultrazvuk niskog intenziteta posjeduje važne značajke koje ga čine prikladnim za ispitivanje struktura i značajki prehrambenih sustava tijekom obrade (online).

Ultrazvučni valovi visokog intenziteta imaju frekvencije od 20 – 100 kHz te visoke razine snage (u rasponu od 10 – 1000 W/cm²). Za razliku od ultrazvuka niskog intenziteta,

ovakvi valovi visokog intenziteta, zbog velike snage kojom djeluju na materijal, uzrokuju fizička oštećenja tkiva kao i određene kemijske reakcije (Zinoviadou i sur., 2015). Tijekom obrade materijala ultrazvukom visokog intenziteta, kada zvučni val dođe do tekuće sredine, nastaju longitudinalni valovi pri čemu dolazi do naizmjeničnih ciklusa sažimanja i ekspanzije (Bosiljkov i sur., 2009). Ovo naizmjenično izmjenjivanje tlaka izaziva kavitacije (formiranje i nastanak mjehurića) i upravo zbog fenomena kavitacije dolazi do fizikalnih i kemijskih promjena na materijalima na kojima se primjenjuje (Ninčević Grassino i sur., 2016). Sposobnost ultrazvuka da izazove kavitacije ovisi o karakteristikama ultrazvuka (frekvenciji, intenzitetu), svojstvima proizvoda (gustoći, viskoznosti i površinskoj napetosti) i okolnim uvjetima (temperaturi, tlaku i vlažnosti) (Brnčić i sur., 2009). Ovaj ultrazvuk, zbog toga što uzrokuje kavitaciju, se smatra snažnim ultrazvukom i ima primjenu u prehrambenoj industriji (Zinoviadou i sur., 2015). Koristi se pri emulgiranju, dispergiranju i homogenizaciji, kao i pri kristalizacijskim procesima (Knorr i sur., 2002). Dokazano je koristan u nastajanju kristala leda tijekom zamrzavanja vode jer pod utjecajem ovakvog ultrazvuka dolazi do skraćivanja vremena između inicijacije kristalizacije i potpune pretvorbe leda te time smanjenja oštećenja stanice. Također, pri visokim intenzitetima, ultrazvuk ima letalni učinak na mikroorganizme što ga čini izuzetno dobrim tretmanom za očuvanje hrane (Jeličić i sur., 2012).



Slika 6. Područja podjele zvuka prema frekvencijama (Mason i sur., 1996)

2.3.2. Karakteristike zvučnog vala

Zvučni val određen je amplitudom $[A]$ i frekvencijom $[f]$ te valnom duljinom $[\lambda]$ i koeficijentom prigušenja $[\alpha]$. Amplituda A se smanjuje porastom udaljenosti zbog prigušenja (slika 7), a koeficijent prigušenja α je mjera smanjenja amplitude ultrazvučnog vala nakon prolaska materijalom (Šic Žlabur i sur., 2015).

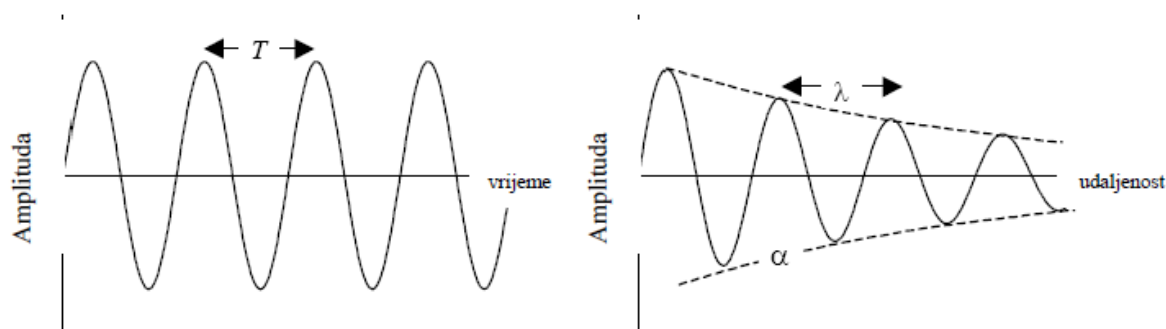
Koeficijent prigušenja (atenuacije) koji predstavlja smanjenje amplituda ultrazvučnog vala prilikom njegovog prolaska kroz materijal dan je izrazom:

$$A = A_0 e^{-\alpha x}$$

A_0 je početna amplituda zvučnog vala, a x predstavlja prijeđenu udaljenost. Najvažniji uzroci atenuacije su adsorpcija i raspršivanje.

Adsorpcija je uzrokovana fizikalnim mehanizmom koji pretvara ultrazvučnu energiju u toplinu, a raspršivanje se pojavljuje u heterogenim materijalima poput emulzija, suspenzija i pjena (Šic Žlabur i sur., 2015).

Za razliku od adsorpcije, energija je zbog raspršivanja još uvijek spremljena u obliku ultrazvučne energije, ali se ne registrira jer su njezin smjer i faza prenošenja promijenjeni.



Slika 7. Smanjenje amplitude – amplituda ultrazvuka (lijevo) te promjena amplitude u nekom vremenu tijekom prolaska ultrazvuka kroz medij (desno). T je udaljenost između susjednih maksimuma, λ je valna duljina i α je koeficijent atenuacije (McClements, 1995)

2.3.3. Ultrazvučne kupelji

Ultrazvučne kupelji se često koriste u laboratorijima jer su lako dostupne i relativno su jeftine (Fernandes i sur., 2008). To je spremnik koji sadrži procesni medij sa pretvaračem ili više njih vezanim na dno, tj. bazu (slika 8). Glavnina ultrazvučnih kupelji radi na frekvenciji od 20 – 40 kHz, iako postoje izvedbe i u višem frekvencijskom području (Brnčić i sur., 2009). Imaju različite mogućnosti izvedbe:

- Termostatski kontrolirano grijanje i promjenjiva snaga,
- Frekvencijsko prostiranje – dobiva se ujednačenije polje kavitacije pri čemu se izbjegavaju stojni valovi koji bi kavitaciju inače ograničili,
- Pokretna sila koja nastaje uključivanjem ili isključivanjem omogućuje kratak signal isprekidane snage ili njezino pulsiranje,
- Električni mjerači vremena koji omogućuju različito trajanje tretmana i perioda kad je isključen.

Standardne ultrazvučne kupelji rade pri nižem intenzitetu da bi se izbjeglo oštećenje stijenki i spremnika uzrokovano kavitacijom. Također rade pri manjim akustičkim snagama iz razloga što su volumeni tretirane tekućine u spremniku najčešće veliki (Brnčić i sur., 2009).

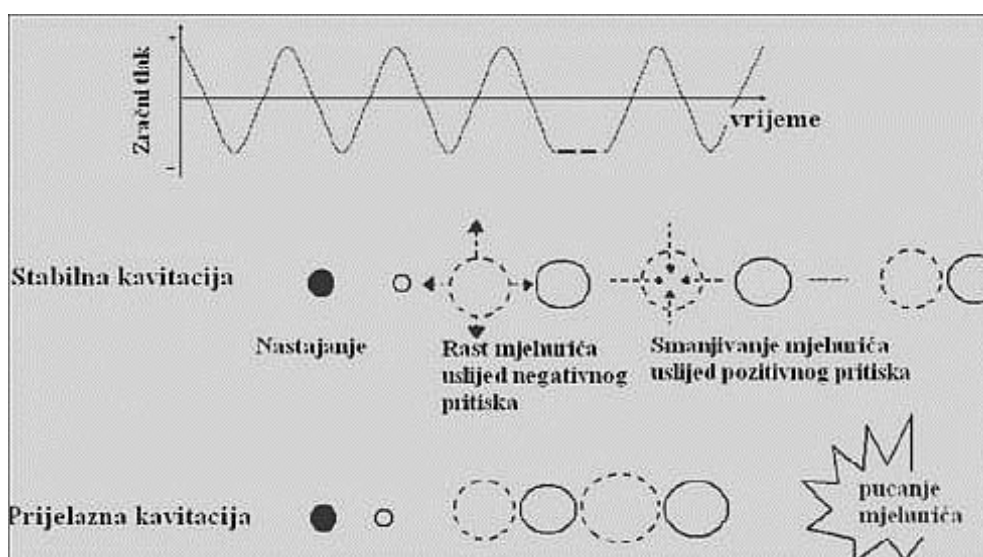


Slika 8. Ultrazvučna kupelj (Gogate i sur., 2006)

2.3.4. Kavitacija

Pod pojmom kavitacija podrazumijeva se formiranje šupljina u tekućinama. Te šupljine nastaju uslijed širenja ultrazvuka putem tlačnih valova koji induciraju vibracijsko gibanje molekula. Njihova međusobna udaljenost se stoga mijenja sukladno promjenama vremenski zavisne jačine tlaka. Kod određenog intenziteta ultrazvuka dolazi do trenutka kada međumolekularne sile pucaju, gubi se kohezivnost medija i dolazi do stvaranja mikroskopskih šupljina, odnosno kavitacijskih mjehurića.

Razlikujemo dva osnovna tipa kavitacije: stabilnu i prijelaznu (slika 9). Ona koja nastaje djelovanjem ultrazvuka niskog intenziteta (frekvencije 1 do 10MHz) te vrlo male razine snage (manje od 1 W/cm^2) i uzrokuje nastajanje mjehurića čija veličina neznatno oscilira tijekom nastajanja tisuća vrtloga, odnosno minimalno se mijenja promjer mjehurića, naziva se stabilna kavitacija. Za razliku od stabilne, prijelazna kavitacija nastaje djelovanjem ultrazvuka visokog intenziteta (frekvencije 20 – 100 kHz) te visoke razine snage (u rasponu od 10 do 1000 W/cm^2) i uzrokuje snažno osciliranje mjehurića pri čemu je dodirna površina mjehurića sve veća tijekom uzastopnih ekspanzija i kompresija te se veličina mjehurića povećava tijekom svakog ciklusa. Nakon brojnih ciklusa kompresije i ekspanzije, mjehurići postižu kritičnu veličinu te u sljedećem ciklusu kompresije para iznenada kondenzira, a mjehurići implodiraju. Zatim dolazi do snažnog međusobnog sudaranja molekula oko mjehurića i na taj način se stvaraju mikropodručja sa ekstremno visokom temperaturom (5000°C) i visokim tlakom ($10^4 - 10^5\text{ kPa}$) (Zinoviadou i sur., 2015).



Slika 9. Stabilna i prijelazna kavitacija (Kujipers, 2002)

Prag kavitacije ovisi o frekvenciji ultrazvučnih valova, amplitudi i početnom polumjeru mjehurića. Promjene tlaka koje su potrebne da dođe do kavitacije ovise o fizikalnim karakteristikama tekućeg medija: tlak pare, intramolekularne sile i koncentracija krute tvari, te o udjelu otopljenog plina. Važnu ulogu predstavljaju i hidrostatski tlak i temperatura. Naime, vrlo visok hidrostatski tlak može prouzročiti difuziju plina i na taj način smanjiti kavitaciju, a također povećanjem temperature smanjuje se prag kavitacije.

Učinak ultrazvuka pri obradi hrane ovisi o broju mjehurića koji podliježu kavitaciji te o jačini njihove implozije. Što se tiče broja mjehurića, on se povećava povećanjem amplitude ultrazvučnih valova. S druge strane, intenzitet implozije mjehurića ovisi o omjeru maksimalne i početne veličine mjehurića.

Potrebno je odabrati odgovarajuće parametre kao što su snaga, amplituda, frekvencija te obrada pri optimalnoj temperaturi i tlaku, kako bi djelotvornost ultrazvuka bila optimalna (Roselló-Soto i sur., 2015).

2.3.5. Ultrazvuk kao predtretman sušenju

Prve studije o korištenju ultrazvuka u procesu sušenja provedene su 1950 – ih godina. U tim vremenima tehnika sušenja potpomognuta ultrazvukom bila je razvijena uglavnom u Sovjetskom savezu (Kudra i Mujumdar, 2009).

Ovakvo sušenje je od velike komercijalne važnosti. Naime, sušenje potpomognuto ultrazvučnim zračenjem se može izvoditi pri nižim temperaturama nego konvencionalno sušenje, čime se smanjuje oksidacija i propadanje materijala (Brnčić i sur., 2009). Ova tehnika sušenja je razvijena s ciljem da se prevladaju neka ograničenja tradicionalnih konvekcijskih postupaka sušenja, osobito na način da se poveća brzina sušenja, a u isto vrijeme da kvaliteta proizvoda ostane sačuvana (Mulet i sur., 2011). Upravo iz tih razloga, zbog uštede energije tijekom obrade proizvoda i minimalnog narušavanja kvalitete istog, povećane brzine sušenja i smanjenja vremena sušenja, ultrazvuk pronalazi značajno mjesto u industriji sušenja. Brojne studije pokazale su da je primjena ultrazvuka ubrzala proces bez izazivanja drastičnog povećanja temperature (Çakmak i sur., 2016), te je iz tog razloga uzet u obzir kako bi se

pojačalo sušenje materijala osjetljivih na temperaturu, kao što je hrana, budući da je ultrazvukom moguće uklanjanje vode bez značajnog zagrijavanja proizvoda (Riera i sur., 2003). Obrada ultrazvukom se odvija pri sobnoj temperaturi, što pomaže očuvanju nutritivnih sastojaka, senzorskih karakteristika i smanjenju nepoželjnih promjena na strukturi tretiranog materijala.

Prethodna obrada ultrazvukom uključuje uranjanje uzorka u vodu ili hipertoničnu otopinu te primjenu ultrazvuka u tom tekućem mediju. Tijekom tretmana neće doći do inkorporacije topljivih komponenata u uzorak ukoliko se destilirana voda upotrebljava kao tekući medij. Primjena ultrazvučnog predtretmana povećava difuziju vode u uzorku, što vodi do kraćih perioda sušenja vrućim zrakom. Dolazi do stvaranja mikrokanalića tijekom primjene ultrazvuka, čime dolazi do smanjenja sloja granice za difuziju i do povećanja konvektivnog prijelaza mase u voću.

Analize rezultata u istraživanju (Musielak i sur., 2016) su pokazale da zbog malog 'efekta temperature', kvaliteta dobivenih proizvoda je bila znatno bolja u usporedbi s proizvodima koji nisu prošli predtretman ultrazvukom. Također je zabilježeno da ultrazvučna predobrada pridonosi dugom trajanju sušenog materijala, u ovom slučaju sušenog voća i povrća (Mothibe i sur., 2011).

Tretman ultrazvukom zbog pojave kavitacije i stvaranja mikrokanalića može imati i negativne učinke, zbog čega je vrlo važno pravilno primijeniti ultrazvuk kako ne bi došlo do oštećenja.

Unatoč tome, ova tehnika se ipak odlikuje brojnim prednostima i svim prethodno navedenim pozitivnim karakteristikama čime se smanjuje mogućnost i vjerojatnost narušavanja kvalitete osušenih proizvoda. Također, oprema kojom se može rukovati u kontinuiranoj obradi kod normalnih uvjeta, je vrlo jednostavna (posuda s vibrirajućom podlogom) (Barba i sur., 2015). Zbog svih karakteristika, sve veći broj relevantnih studija tvrdi da je ultrazvuk vrlo obećavajuća tehnologija u prehrambenoj industriji (Yao, 2016).

2.3.6. Primjena ultrazvuka u prehrambenoj industriji

Ultrazvuk niskog intenziteta i visoke frekvencije može se primijeniti u industrijskim uvjetima za praćenje obrade hrane. Osim toga, ultrazvuk se u prehrambenoj industriji može primijeniti pri čišćenju i odzračivanju tekućina, emulgiranju, dispergiranju i homogenizaciji, kao i pri kristalizacijskim procesima (Knorr i sur., 2002). Leadly i Williams (2002) navode da upotreba ultrazvuka visokog intenziteta povećava prijenos mase za različite proizvode i postupke kao što su sušenje, sterilizacija, ekstrakcija, otplinjavanje, inaktivacija mikroorganizama itd.

➤ Čišćenje

Čišćenje površina smatra se jednom od najraširenijih primjena ultrazvuka. U ovom slučaju, pritisak tekućine, koji prati kavitacijski kolaps blizu površine, je nesimetričan. Površina onemogućava proboj tekućine sa te strane pa tako mlaz tekućine nastaje kao rezultat glavnog toka s druge strane mjehurića. Ovaj snažni mlaz uklanja nečistoće i bakterije s površine (Brnčić i sur., 2009).

➤ Emulgiranje

Emulgiranje je bila jedna od prvih primjena ultrazvuka. Ukoliko mjehurić implodira blizu fazne granice dviju tekućina koje se ne miješaju, val koji nastaje može omogućiti učinkovito miješanje slojeva (Brnčić i sur., 2009). Stabilne emulzije dobivene upotrebom ultrazvuka koriste se u farmaciji, tekstilnoj, kozmetičkoj te prehrambenoj industriji. Tako dobivene emulzije stabilnije su od onih koje se dobiju konvencionalnim metodama i zahtijevaju male količine površinski aktivnih tvari (Brnčić i sur., 2009).

➤ Kristalizacija i zamrzavanje

Ultrazvuk visokog intenziteta dokazano je koristan u nastajanju kristala leda tijekom zamrzavanja vode. Pod utjecajem jakog ultrazvuka dolazi do skraćivanja vremena između inicijacije kristalizacije i potpune tvorbe leda te time smanjenja oštećenja stanice. Također je dokazana i velika učinkovitost u procesima kristalizacije šećera pri čemu ultrazvuk pospješuje stvaranje centara kristalizacije i rast kristala (Brnčić i sur., 2009).

➤ Inaktivacija mikroorganizama i enzima

Pri visokim intenzitetima, ultrazvuk ima letalan učinak na mikroorganizme što ga čini izuzetno dobrim tretmanom za očuvanje kvalitete proizvoda. Međutim, mikroorganizmi su relativno rezistentni na djelovanje ultrazvuka pa je potrebno relativno dugo djelovanje ultrazvučnih valova kako bi se dobio mikrobiološki siguran proizvod. Osnovni parametri koji utječu na učinkovitost ultrazvuka koji inaktivira mikroorganizme su amplituda ultrazvučnih valova, vrijeme izlaganja/kontakta, volumen hrane koja se obrađuje te sastav hrane i temperatura tretiranja (Jeličić i sur., 2012).

➤ Sušenje

Kao što je već ranije navedeno, korištenje ultrazvuka za sušenje je od velike komercijalne važnosti budući da se odvija na nižim temperaturama nego konvencionalno sušenje pa na taj način neće doći do negativnih promjena i spriječit će se degradacija hrane koja se događa na visokim temperaturama (Dujmić i sur., 2013).

➤ Filtracija

Tijekom filtracije čestica iz tekućine uz pomoć ultrazvuka, primjenom ultrazvuka se značajno povećava brzina protjecanja kroz filter (Brnčić i sur., 2009).

➤ Homogenizacija

Tretiranje ultrazvukom se pokazalo izuzetno uspješnim u mljekarskoj industriji u procesu homogenizacije mlijeka gdje su, za razliku od klasičnih homogenizatora, ultrazvučni homogenizatori pokazali visoku učinkovitost i manju potrošnju energije, a samim time i znatno niže troškove (Bosiljkov i sur., 2011).

➤ Ekstrakcija

Mehaničko djelovanje ultrazvuka osigurava bolji prolazak otapala u stanicu, poboljšan prijenos mase, te razbijanje stijenki stanica i na taj način poboljšava ekstrakciju klasičnim putem (Brnčić i sur., 2009).

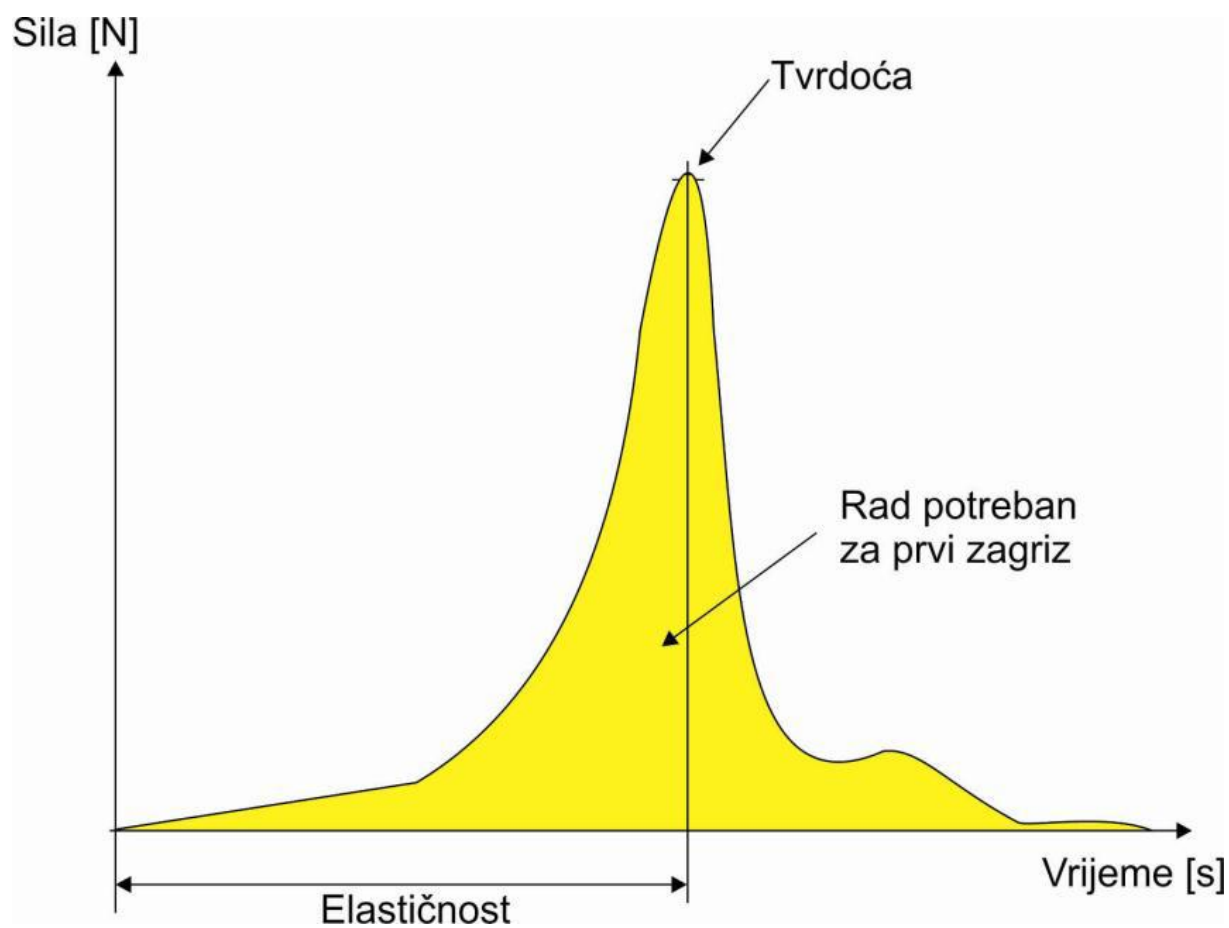
2.4. FIZIKALNA SVOJSTVA NAMIRNICA

2.4.1. Boja

Boja je uvijek bila prvi faktor na temelju kojeg se potrošač odlučuje na kupnju nekog proizvoda. Tekstura, okus, miris i ostali faktori postaju značajni faktori tek nakon pomnijeg promatranja ili tijekom samog konzumiranja proizvoda. Zbog toga je prilikom sušenja vanjskom izgledu i boji osušenog proizvoda nužno posvetiti značajnu pažnju, kako bi konačni proizvod bio vizualno prihvatljiv. Za njezino mjerenje koriste se mjerni instrumenti (kolorimetri) visoke osjetljivosti i jednostavni za upotrebu. Matematički sustav koji se najčešće koristi u prehrambenoj industriji za mjerenje boje je CIE – $L^*a^*b^*$ sustav (Yost i sur., 2006). Na slici 10. prikazan je shematski dijagram koji pokazuje CIE – $L^*a^*b^*$ sustav. L^* predstavlja svjetlinu, odnosno skalu sive boje, pri čemu je vrijednost 0 potpuno crna boja, a 100 potpuno bijela. a^* ima raspon vrijednosti od -100 do +100, gdje negativne vrijednosti označavaju približavanje zelenoj boji, dok pozitivne vrijednosti označavaju približavanje crvenoj. b^* također ima isti raspon vrijednosti, s negativnim vrijednostima koje u -100 dosežu čisto plavu boju, te pozitivnim vrijednostima gdje +100 predstavlja čisto žutu boju. Kombinacijom a^* i b^* vrijednosti dobivamo boju materijala, pri čemu L^* predstavlja svjetlinu te boje (Karlović, 2013).

2.4.2. Analiza teksture

Teksturalna svojstva ubrajaju se u fizikalna svojstva namirnica te uključuju niz parametara kao što su tvrdoća, kohezivnost, elastičnost itd. Tekstura ima važnu ulogu kod potrošača, ali nakon što se namirnica konzumira, te kao parametar senzorske kvalitete utječe na oslobađanje okusa koje je povezano s početnom strukturom i promjenom teksture tijekom žvakanja odnosno mehaničkim svojstvima namirnica (Brnčić i sur., 2006). Instrumentalno određivanje teksturalnih svojstava hrane provodi se pomoću različitih specifičnih mjernih uređaja koji oponašaju uvjete žvakanja, čiji odabir ovisi o strukturnim svojstvima hrane i o ciljanom svojstvu teksture (Brnčić i sur., 2011). Mjerni instrumenti koji koriste silu podijeljeni su u skupine s obzirom na metodu mjerenja kao što su ubod, ekstruzija, kompresija, rezanje itd. Sila F , deformacija D i vrijeme su temeljne varijable koje se koriste kod proučavanja mehaničkih svojstava namirnica. Na slici 10 prikazan je karakteristični profil za određivanje teksture.



Slika 10. Karakterističan profil teksturalnih svojstava sušenog proizvoda (Brnčić i sur., 2010)

3. EKSPERIMENTALNI DIO

3.1. MATERIJALI

3.1.1. Priprema uzoraka

Iz svježe buče sorte *Cucurbita moschata* (tzv. 'butternut buče') izrezane su kriške debljine 3mm koje su bile razdijeljene u skupinama po 6 paralela. Izrezanim uzorcima se izmjerila masa pomoću analitičke vage Kern ABS 80-4 (Kern & Sohn, Njemačka) nakon čega su uzorci dalje obrađivani.

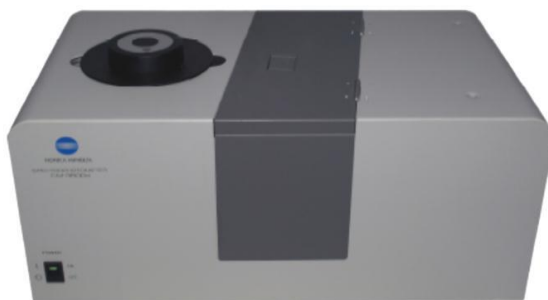
3.2. METODE RADA

3.2.1. Određivanje boje

Određivanje boje uzoraka vršilo se difuzno reflektirajućom spektrofotometrijom na kolorimetru CM-3500d (Konica – Minolta, Japan) prikazanom na slici 11, pri čemu je odabrana maska otvora 8mm kao optimalna s obzirom na veličinu uzoraka. Neovisno o valnoj duljini svjetlo reflektirano od uzoraka se sakuplja u integrirajućoj sferi, te se normalizira prema svjetlu izvora reflektancije. Zbog toga se prije svakog seta mjerenja uređaj kalibrirao sa čisto bijelim standardom (100%-tna refleksija), te crnim valjkom (0% refleksije). Izabrana geometrija bila je d/8, a u programu Spectramagic NX (Konica – Minolta, Japan) su se podesile sve potrebne postavke. Uzorak koji se ispitivao postavio se tako da prekriva cijeli otvor te se poklopio s valjkom potpuno crne boje i maksimalne apsorbirane svjetlosti. Kao rezultat dobivena je reflektancija uzorka u čitavom području vidljivog spektra, te L^* , a^* i b^* vrijednosti iz kojih se računa vrijednost ΔE^* po formuli:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2}$$

- L^* - svjetlina boje ispitivanog uzorka u $L^*a^*b^*$ sustavu
- a^* - parametar boje ispitivanog uzorka
- b^* - parametar boje ispitivanog uzorka
- L_{ref}^* - svjetlina boje referentnog uzorka
- a_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka
- b_{ref}^* - parametar boje referentnog uzorka



Slika 11. CM-3500d kolorimetar (Konica – Minolta, Japan)

3.2.2. Obrada ultrazvukom

Za obradu se koristio ultrazvučni uređaj sa kupelji maksimalne snage 1580W, frekvencije 37kHz (Elmasonic P 300 H, Elma – Hans Schmidbauer Gmbh & Co., Njemačka) prikazan na slici 12. Uzorci su se uranjali u vodom napunjenu ultrazvučnu kupelj izrađenu od nehrđajućeg čelika. Ultrazvučna kupelj je bila napunjena sa 10L destilirane vode. Ultrazvukom se tretiralo 9 skupina uzoraka po 6 paralela pri jednakoj frekvenciji (37 kHz) i amplitudi (100%), ali pri različitim vremenima tretiranja (10, 30 i 50 min). Ciklus je podešen na 1, što predstavlja puno vrijeme obrade ultrazvukom. Nakon isteka vremena uzorci su lagano obrisani kuhinjskim papirom, čime je uklonjena voda s površine uzoraka te stavljeni na sušenje.



Slika 12. Uređaj za obradu ultrazvukom visokog intenziteta, sa ultrazvučnom kupelji od nehrđajućeg čelika (Elma – Hans Schmidbauer Gmbh & Co., Njemačka)

3.2.3. Sušenje u vakuum sušari

Sušenje uzoraka provodilo se u sušari Memmert tvrtke Memmert GmbH + Co. KG, Njemačka (slika 13) pri temperaturi od 40°C te različitim tlakovima za pojedinu skupinu uzoraka (50, 250 i 1000 mbar) te u trajanju od 180 min. Sušile su se tri skupine uzoraka netretiranih ultrazvukom te devet skupina koje su prije sušenja bile podvrgnute ultrazvučnom tretmanu. Na uzorke su tijekom sušenja bile postavljene metalne mrežice zbog već dodirne površine i boljeg prijenosa topline. Nakon 180 minuta, uzorci su se vadili iz sušare te dalje obrađivali.



Slika 13. Vakuum sušara (Memmert GmbH + Co. KG, Njemačka)

3.2.4. Fotografiranje uzoraka

Osušeni uzorci postavljeni su na bijelu pozadinu, te fotografirani. Kod svih uzoraka korišteno je difuzno osvjetljenje od 600 luxa, ISO 100, F 5,4. Fotografiranje je obavljeno korištenjem aparata E-520 (Olympus, Japan) s uzorcima postavljenim na udaljenost od 50 cm.

3.2.5. Analiza teksture

Analiza teksture provedena je na instrumentalnom analizatoru teksture TA.HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija) prikazanom na slici 14. Uzorci su postavljeni na metalnu podlogu, te je na uređaj s postavljenim utegom od 5 kg instalirana sonda promjera 2 mm. Brzina prodiranja sonde podešena je na 1 mm/s, uz dubinu prodiranja od 10 mm. Računalo je postavljeno da počinje zapisivati vrijednosti kada sonda dođe u kontakt s uzorkom, pri čemu je minimalna izmjerena sila potrebna za početak mjerenja iznosila 0,098 N. Kao rezultat su dobivene vrijednosti sile probijanja jednake maksimalnoj sili izražene u N, te rad potreban za probijanje izražen u Nm (J). Na temelju rezultata dobivenih za silu i površine sonde, izračunata je tvrdoća σ (N/mm²).



Slika 14. Analizator teksture TA. HDPlus (Stable Micro Systems, Velika Britanija)

4. REZULTATI I RASPRAVA

U ovom dijelu bit će prikazani rezultati učinka sušenja uzoraka buče koji su prethodno obrađeni ultrazvukom frekvencije 37 kHz, amplitude 100% te različitih trajanja tretiranja (10, 30 i 50 min), kao i rezultati učinka sušenja za skupine uzoraka koje nisu prethodno obrađivane ultrazvukom. Eksperimentalno dobiveni podaci učinka sušenja obrađeni su u MS Excel, pri čemu je određena srednja vrijednost 6 paralela svake skupine te standardna devijacija (SD), te su prikazani tablično kao srednja vrijednost 6 paralelnih određivanja \pm SD.

4.1. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA NETRETIRANIH ULTRAZVUKOM

Na tablici 2 prikazani su rezultati učinka sušenja uzoraka triju skupina određenih parametara (temperatura, tlak i vrijeme sušenja) koje nisu bile prethodno tretirane ultrazvukom.

Tri skupine uzoraka su postavljene na sušenje uz pomoć metalne mrežice koja je postavljena na uzorke s ciljem poboljšanja prijenosa topline na uzorke i samim time bolje učinkovitosti sušenja. Rezultati takvih skupina uzoraka su prikazani u tablici 3.

Tablica 2. Rezultati učinka sušenja triju skupina uzoraka buče bez primjene mrežice pri jednakoj temperaturi i vremenu te pri različitim tlakovima

Skupina	Temperatura (°C)	Tlak (mbar)	Vrijeme (min)	Učinak sušenja (%)
2	40	50	180	69,26 \pm 5,13
6	40	250	180	45,44 \pm 6,34
18	40	1000	180	39,14 \pm 4,39

Tablica 3. Rezultati učinka sušenja triju skupina uzoraka pomoću metalne mrežice, pri jednakoj temperaturi i vremenu te pri različitim tlakovima

Skupina	Temperatura (°C)	Tlak (mbar)	Vrijeme (min)	Učinak sušenja (%)
2*	40	50	180	84,4 ± 4,24
6*	40	250	180	60,75 ± 4,44
18*	40	1000	180	44,51 ± 3,94

Primjenom metalne mrežice (tablica 3) na uzorke tijekom sušenja postigli su se bolji rezultati u odnosu na skupine uzoraka koje nisu bili pod mrežicom (tablica 2). Naime, učinkovitost sušenja pomoću metalne mrežice je poboljšana za oko 15% za prve dvije skupine uzoraka, te otprilike 5% za treću skupinu uzoraka u odnosu na skupine uzoraka iz tablice 2. Razlog boljih rezultata je veća dodirna površina uzoraka i grijaćih ploha te samim time i bolji prijenos topline na uzorke.

Najbolji učinak sušenja uzoraka netretiranih ultrazvukom postignut je primjenom najniže korištenog tlaka od 50 mbar, gdje je učinkovitost sušenja dosegla vrijednost od 84,4%. Povećavanjem tlaka u sušari smanjuje se učinak sušenja pa je tako najmanji učinak zabilježen u uvjetima atmosferskog tlaka (1000 mbar). Što je niži tlak, molekule lakše difundiraju i isparavaju pa se stoga može utvrditi da se smanjenjem tlaka učinak sušenja znatno povećava, što su rezultati i pokazali.

4.2. REZULTATI SUŠENJA UZORAKA PREDTRETIRANIH ULTRAZVUKOM

9 skupina uzoraka sa 6 paralela tretirano je ultrazvukom prije sušenja, pri čemu su duljine tretiranja bile 10, 30 i 50 minuta za pojedine skupine uzoraka, te jednake frekvencije (37 kHz) i amplitude (100%) za sve skupine. Nakon toga se provodilo sušenje istih skupina pri određenim parametrima. Rezultati učinka sušenja uzoraka predtretiranih ultrazvukom su prikazani u tablici 4.

Tablica 4. Rezultati učinka sušenja uzoraka koji su prethodno obrađeni ultrazvukom

Skupina	Trajanje tretmana UZV [min]	Temperatura [°C]	Tlak [mbar]	Vrijeme [min]	Učinak sušenja [%]
1	10	40	50	180	55,44 ± 9,48
2	30	40	50	180	71,67 ± 5,7
3	50	40	50	180	84,79 ± 1,44
4	10	40	250	180	33 ± 2,31
5	30	40	250	180	46,62 ± 4,7
6	50	40	250	180	51,64 ± 2,12
7	10	40	1000	180	46,33 ± 2,15
8	30	40	1000	180	47,1 ± 1,69
9	50	40	1000	180	50,19 ± 2,75

Budući da su temperatura i vrijeme sušenja bili jednaki za sve skupine uzoraka, te amplituda i intenzitet obrade ultrazvukom, pratio se utjecaj promjene tlaka u sušari i vrijeme tretiranja ultrazvukom.

Iz navedenih rezultata se može vidjeti da je nakon sušenja uzoraka predtretiranih ultrazvukom najbolji učinak kod svih skupina postignut kod uzoraka koji su prije sušenja bili podvrgnuti ultrazvučnom predtretmanu u trajanju od 50 minuta. Time se potvrdila pretpostavka da duže vrijeme tretiranja rezultira većim utjecajem ultrazvuka na tretirani uzorak. Međusobnom usporedbom tih skupina sušenih pri različitim tlakovima nakon predtretmana, može se vidjeti da su sušenjem pri tlaku od 50 mbar postignuti najbolji učinci u odnosu na sušenje pod atmosferskim i tlakom od 250 mbar. Time se može potvrditi da se najbolje sušenje postiže pri najnižem tlaku i najdužem vremenu tretiranja ultrazvukom.

Usporedbom uzoraka predtretiranih ultrazvukom te sušenih pri tlaku od 50 mbar sa uzorcima netretiranim ultrazvukom i sušenih pri jednakim parametrima, učinak sušenja je bio bolji kod uzoraka predtretiranih ultrazvukom u trajanju od 50 minuta od netretiranih uzoraka, iako razlika učinkovitosti nije toliko značajna.

Usporedbom uzoraka predtretiranih ultrazvukom te sušenih pri tlaku od 250 mbar sa netretiranim uzorcima i sušenih pri jednakim parametrima, učinak sušenja u ovom slučaju je ipak bio bolji kod uzoraka netretiranih ultrazvukom.

Usporedbom uzoraka predtretiranih ultrazvukom te sušenih pri atmosferskom tlaku sa netretiranim uzorcima i sušenih pri jednakim parametrima, učinak sušenja je bio bolji kod uzoraka predtretiranih ultrazvukom u trajanju od 50 minuta od netretiranih uzoraka.

Može se, dakle, reći da je najbolji učinak sušenja postignut kod uzoraka predtretiranih ultrazvukom sa najdužim vremenom tretiranja (50 minuta) te sušenih u vakuum sušari pri najnižem tlaku (50 mbar), što potvrđuje da je ultrazvuk visokog intenziteta efikasan i iskoristiv kao metoda obrade prije sušenja.

4.3.KOLORIMETRIJA

Tablica 5. L*, a* i b* vrijednosti za uzorke buče netretirane ultrazvukom, sušene u vakuum sušari na temperaturi od 40°C te pri različitim tlakovima (50, 250 i 0 mbar)

Skupina	L*	a*	b*
2*	67,47	25,98	49,41
6*	66,67	22,47	51,95
18*	65,99	22,65	52,28

Tablica 6. L*, a* i b* vrijednosti za uzorke buče obrađene 10 min ultrazvukom, sušene u vakuum sušari na 40°C te pri različitim tlakovima (50, 250 i 0 mbar)

Skupina	L*	a*	b*
1	63,79	24,25	50,52
4	66,78	23,91	50,18
7	64,27	23,29	48,61

Tablica 7. L^* , a^* i b^* vrijednosti za uzorke buče obrađene 30 min ultrazvukom, sušene u vakuum sušari na 40°C te pri različitim tlakovima (50, 250 i 0 mbar)

Skupina	L^*	a^*	b^*
2	61,05	22,9	47,48
5	66,25	23,17	49,84
8	65,1	22,3	47,71

Tablica 8. L^* , a^* i b^* vrijednosti za uzorke buče obrađene 50 min ultrazvukom, sušene u vakuum sušari na 40°C te pri različitim tlakovima

Skupina	L^*	a^*	b^*
3	60,41	21,81	45,09
6	68,85	20,78	44,25
9	66,95	20,27	45,09

Tablica 9. Vrijednosti ΔE^* između netretiranih referentnih uzoraka buče i uzoraka tretiranih ultrazvukom tijekom 10, 30 i 50 minuta

Parametri	50 mbar	250 mbar	0 mbar
10 min	4,22	2,28	4,1
30 min	2,61	2,26	4,67
50 min	9,27	8,18	7,63

Uz dobivene L^* , a^* i b^* vrijednosti boje, ukupna promjena boje ispitivanih uzoraka buče izražavala se preko ΔE^* . Budući da su svi uzorci sušeni na 40°C , prema rezultatima prikazanima u tablicama 5 do 8, boja uzoraka ovisi o trajanju predtretmana. Sa porastom trajanja predtretmana dolazi do tamnjenja ispitivanih uzoraka, te je najtamniji uzorak bio podvrgnut predtretmanu u trajanju od 50 minuta, iako je boja takvih uzoraka vizualno prihvatljiva, što se kasnije može vidjeti sa digitalnih fotografija.

Promatrajući ΔE^* parametar, može se primijetiti da na odstupanje boje uzoraka nakon ultrazvukom potpomognutog sušenja od referentnih uzoraka koji nisu predtretirani ultrazvukom, također utječe trajanje predtretmana. Iz tablice 9 se može vidjeti da se vrijednost ΔE povećava sa produljivanjem trajanja ultrazvučnog predtretmana, neovisno o tlaku koji je podešen tijekom sušenja. Iako razlika odstupanja boje kod uzoraka predtretiranih ultrazvukom 10 i 30 minuta nije značajna, znatno veće odstupanje boje zabilježeno je kod uzoraka koji su bili tretirani ultrazvukom u trajanju od 50 minuta.

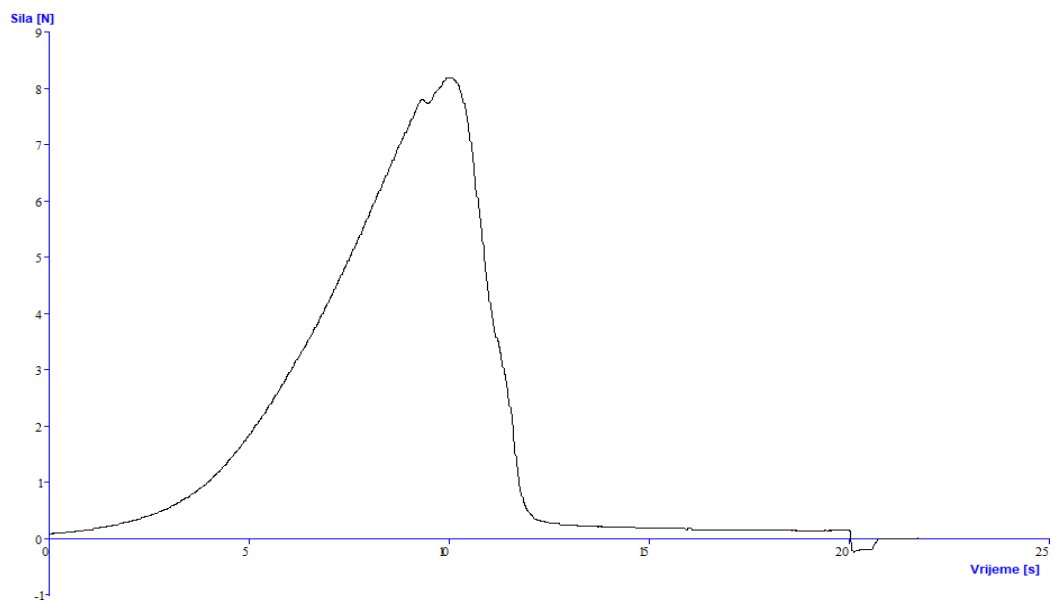
4.4. ANALIZA TEKSTURE

Tablica 10. Rezultati analize teksture uzoraka netretiranih ultrazvukom sušenih 180 minuta na 40°C

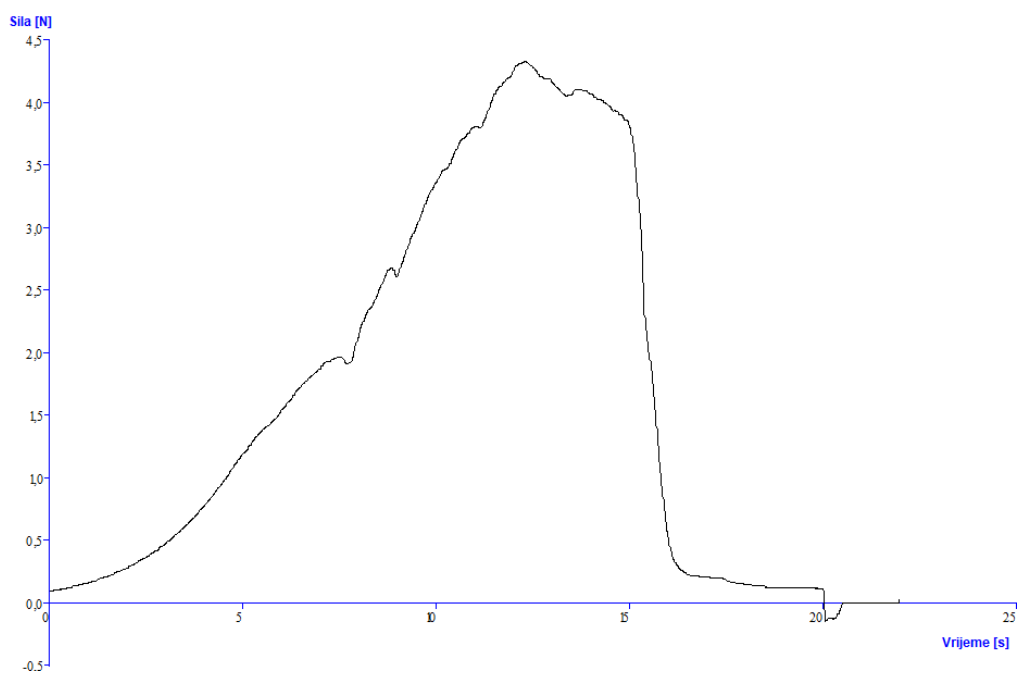
Skupina	Tlak tijekom sušenja (mbar)	Sila probijanja F_p [N]	Naprezanje u točki probijanja (tvrdoća) σ [N/mm ²]	Rad potreban za probijanje W [Nm]
2*	50	10, 7315	3, 4176	0, 0173
6*	250	6, 6001	2, 1019	0, 0113
18*	1000	4, 8415	1, 5418	0, 006

Dobiveni rezultati analize teksture uzoraka netretiranih ultrazvukom prikazanih na tablici 10 pokazuju da je smanjenjem tlaka potrebna veća sila probijanja uzorka. Također, tvrdoća uzoraka je veća smanjenjem tlaka pa je tako najtvrdi uzorak bio onaj podvrgnut sušenju pri 50 mbar, a najmekši onaj koji je sušen pri atmosferskom tlaku. Budući da se kod najmanjeg tlaka postigao najbolji učinak sušenja, takvi uzorci su bili najtvrdi pa je to razlog ovako dobivenih rezultata.

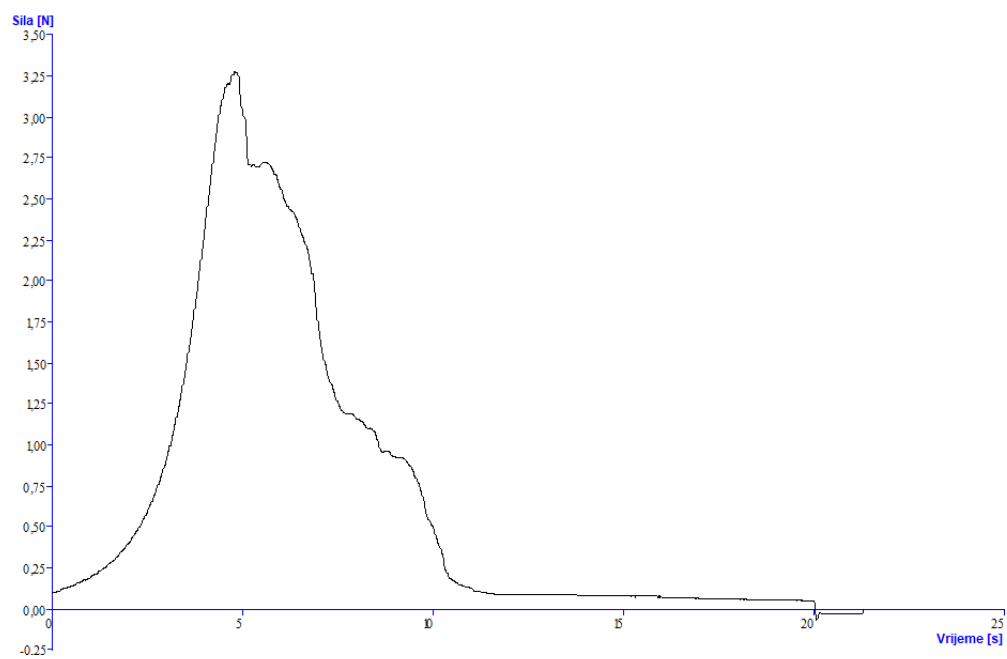
Na slikama 15 – 20 prikazani su primjeri analiza teksturnog profila određenih uzoraka.



Slika 15. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče skupine 2*



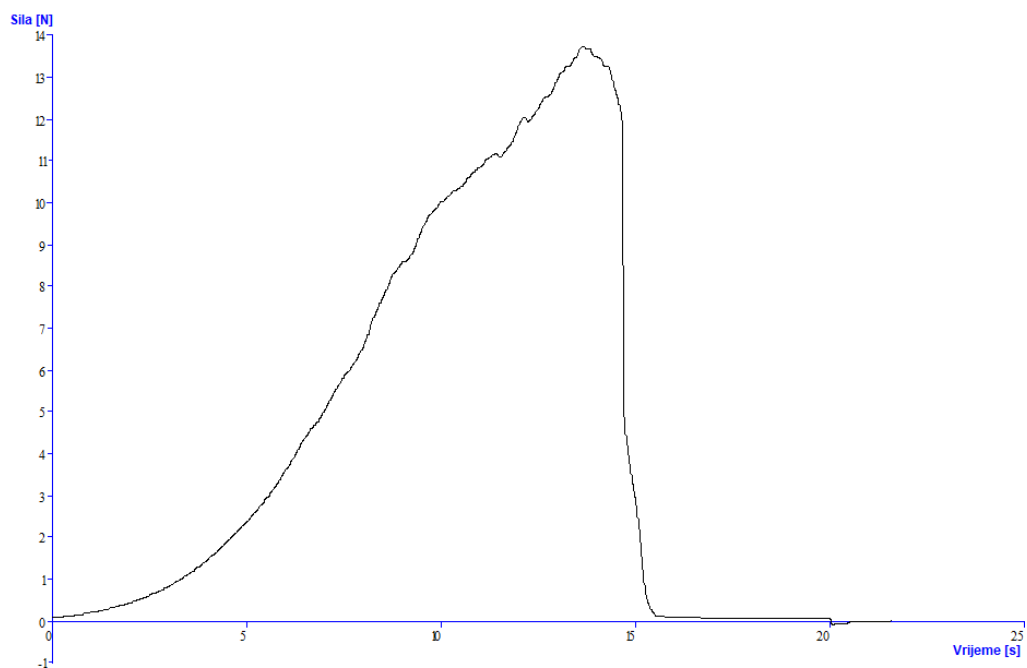
Slika 16. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče skupine 6*



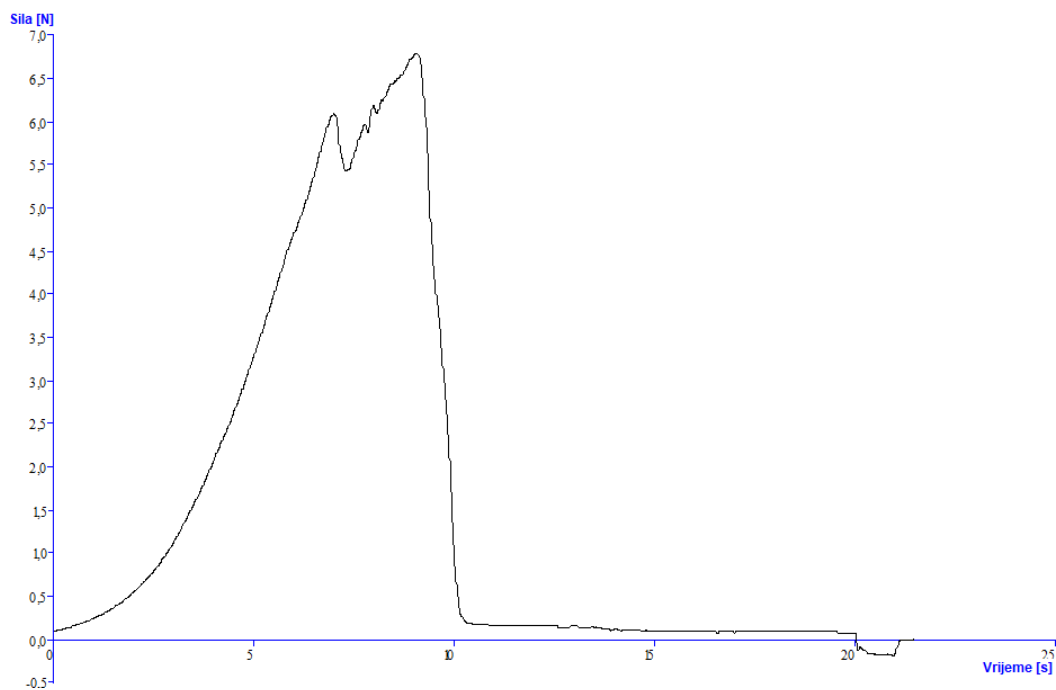
Slika 17. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče skupine 18*

Tablica 11. Rezultati analize teksture ultrazvukom predtretiranih i osušenih uzoraka na 40°C tijekom 180 minuta

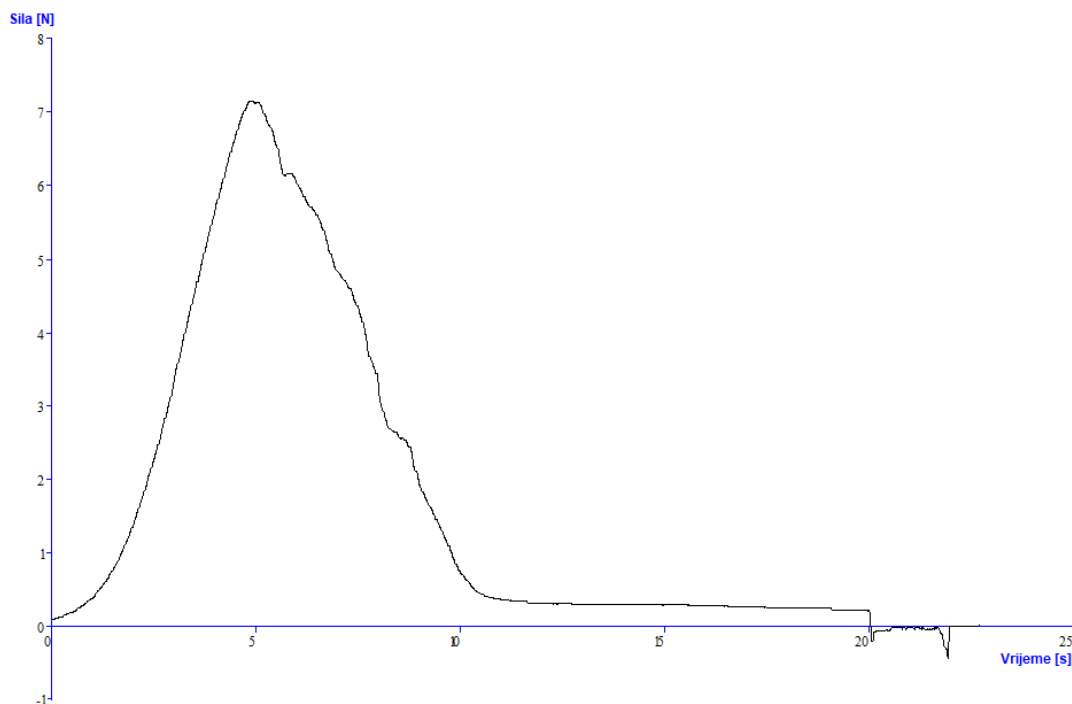
Analiza teksture osušenih uzoraka predtretiranih ultrazvukom					
Skupina	Predtretman [min]	Tlak tijekom sušenja [mbar]	Sila probijanja F_p [N]	Naprezanje u točki probijanja (tvrdoća) σ [N/mm ²]	Rad potreban za probijanje W [Nm]
1	10	50	13,8431	4,4086	0,028
2	30	50	13,3546	4,253	0,025
3	50	50	11,05	3,5191	0,0163
4	10	250	9,0377	2,8773	0,0123
5	30	250	5,7283	1,8242	0,0085
6	50	250	4,7571	1,5149	0,0052
7	10	1000	7,9258	2,5241	0,009
8	30	1000	7,6233	2,4277	0,0092
9	50	1000	5,6393	1,7959	0,0055



Slika 18. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče predtretiranog ultrazvukom 10 minuta



Slika 19. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče predtretiranog ultrazvukom 30 minuta

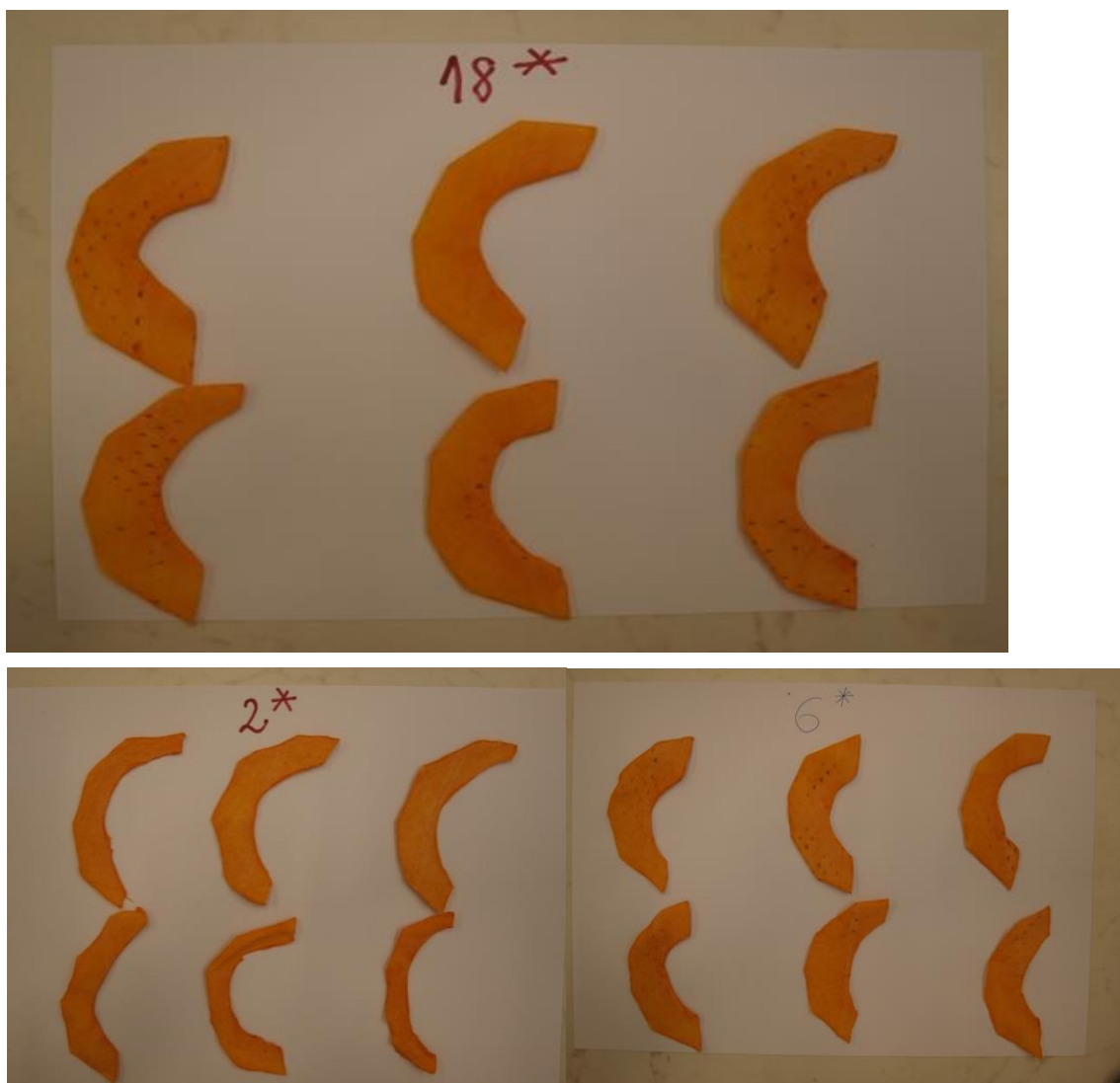


Slika 20. Analiza teksturnog profila primjera osušenog uzorka buče predtretiranog ultrazvukom 50 minuta

Dobiveni rezultati analize teksture uzoraka tretiranih ultrazvukom prikazanih u tablici 11 pokazuju također da je smanjenjem tlaka potrebna veća sila probijanja te je, zbog postignutog boljeg učinka sušenja, tvrdoća uzoraka veća kod manjeg primijenjenog tlaka tijekom sušenja. No, isto tako dobiveni rezultati pokazuju da povećanje vremena tretiranja ultrazvukom uzrokuje smekšavanje uzoraka (smanjenje tvrdoće, sile te rada potrebnog za probijanje uzorka), pri čemu je najmekši uzorak bio onaj osušen pri atmosferskom tlaku i predtretiran ultrazvukom 50 minuta.

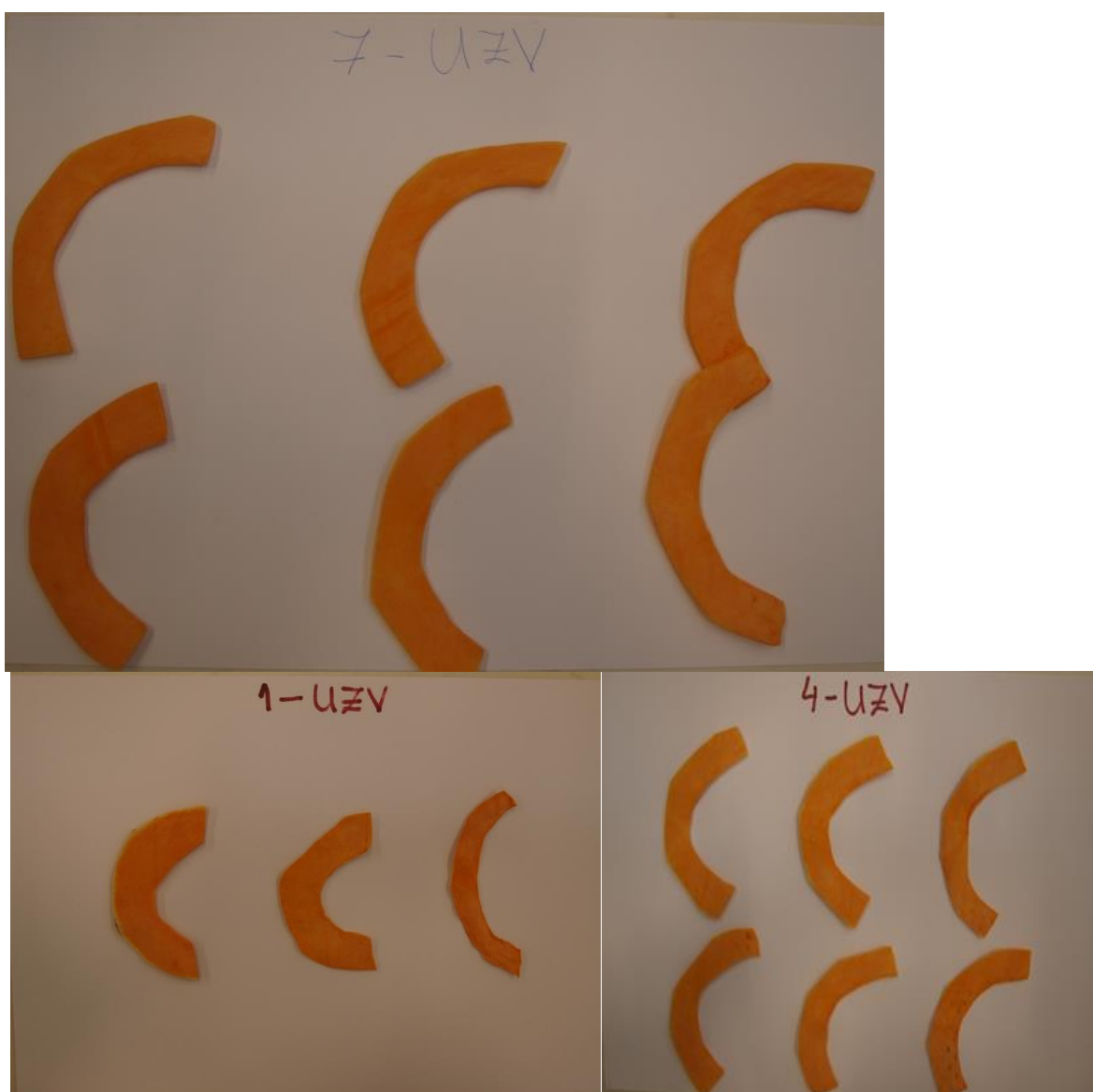
Međutim, usporedbom uzoraka predtretiranih ultrazvukom sa onim koji nisu bili podvrgnuti ultrazvučnom tretmanu, ne može se vidjeti očekivano značajno smanjenje tvrdoće tretiranih uzoraka u odnosu na netretirane.

4.5.DIGITALNA FOTOGRAFIJA

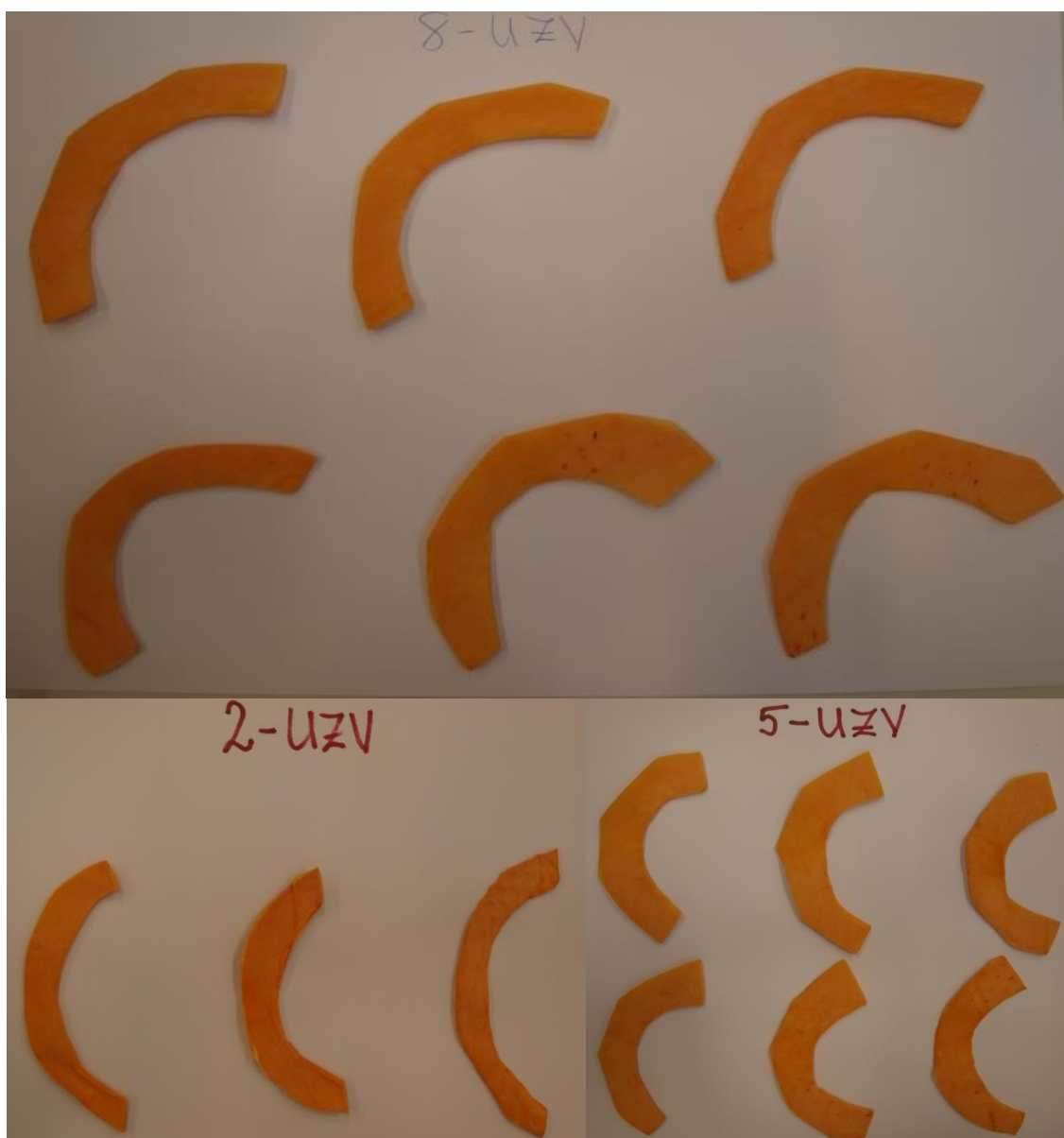


Slika 21. Osušeni netretirani uzorci buče na 40°C tijekom 180 minuta, pri tlaku od 50, 250 i 1000 mbar

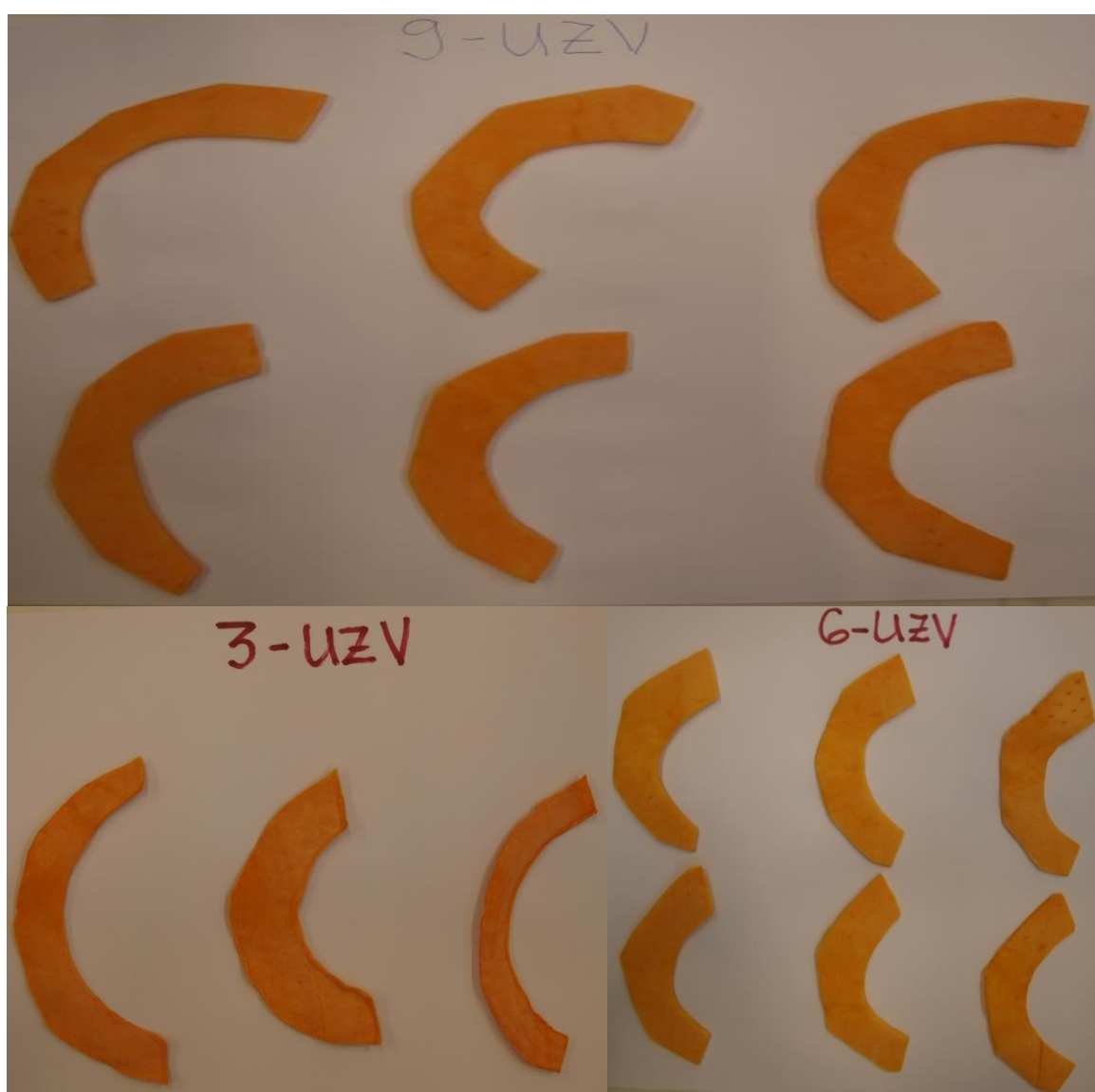
Na osnovu slike 21 koja prikazuje osušene i ultrazvukom netretirane uzorke, može se i vizualno zaključiti da je najbolji učinak sušenja postignut primjenom tlaka od 50 mbar. Također, ovdje se očituje prednost vakuum sušenja gdje nije korištena visoka temperatura i gdje je eliminiran proces oksidacije pa se boja uopće ili samo neznatno mijenja. U ovom slučaju možemo reći da gotovo nije došlo do promjene boje između skupina uzoraka podvrgnutih različitim tlakovima. Najprihvatljiviji uzorak je bio zapravo onaj koji je i najbolje osušen (uzorak osušen pri tlaku od 50 mbar). Iako zaobljen na rubovima, zadovoljava izgledom i bio je dovoljno osušen za razliku od uzoraka sušenih pri atmosferskom i tlaku od 250 mbar koji su također zadovoljavali izgledom, ali ne i postotkom osušenosti što se moglo zaključiti i opipom takvih uzoraka koji su bili nezadovoljavajuće 'gumenaste' strukture.



Slika 22. Osušeni uzorci buče predtretirani ultrazvukom 10 minuta, sušeni pri različitim tlakovima (50, 250 i 1000 mbar)



Slika 23. Osušeni uzorci buče predtretirani ultrazvukom 30 minuta, sušeni pri različitim tlakovima (50, 250 i 1000 mbar)



Slika 24. Osušeni uzorci buče predtretirani ultrazvukom 50 minuta, sušeni pri različitim tlakovima (50, 250 i 1000 mbar)

Osušeni uzorci buče sa slika 22 - 24 su vizualno isti, te očekivano obrada ultrazvukom ne utječe na vanjski izgled uzoraka buče. Ta činjenica je vrlo važna iz aspekta potrošača, koji se prilikom odlučivanja o kupovini nekog proizvoda najvećim dijelom vodi njegovim izgledom. Lagano zaobljenje rubova je posljedica neravnomjerne raspodjele topline tijekom sušenja uzoraka. Svejedno, uzorci su vizualno prihvatljivi te nema dijelova koji bi bili izraženije smeđe ili druge neprihvatljive boje te se može zaključiti da je sušenje uspjelo, ali sa naglaskom na najbolji učinak sušenja pri najdužem vremenu tretiranja i najnižem primijenjenom tlaku tijekom sušenja, pri čemu predtretman ultrazvukom nema negativnih utjecaja na izgled uzoraka buče.

5. ZAKLJUČCI

Na temelju dobivenih rezultata i provedene rasprave može se zaključiti slijedeće:

1. Sušenjem uzoraka pomoću metalne mrežice poboljšao se učinak samog sušenja.
2. Vakuum sušenje se pokazalo kao odličan postupak sušenja zbog mogućnosti korištenja nižih temperatura i samim time očuvanja organoleptičkih svojstava i zbog lakšeg isparavanja molekula vode čime se postiže bolji učinak sušenja.
3. Smanjenjem tlaka u sušari dolazi do povećanja učinka sušenja i zbog prisutnosti vakuuma, eliminiran je proces oksidacije.
4. Ultrazvuk visokog intenziteta se pokazao efikasan i iskoristiv kao predtretman sušenju zbog očuvanja važnih karakteristika proizvoda.
5. Duže vrijeme tretiranja rezultira većim utjecajem ultrazvuka na tretirani uzorak pa se najučinkovitije sušenje postiglo pri najnižem tlaku i najdužem vremenu tretiranja.
6. Usporedbom predtretiranih i ultrazvukom netretiranih uzoraka, pri većini parametara se boljim pokazao učinak sušenja predtretiranih uzoraka, osim pri tlaku od 250 mbar.
7. Porastom trajanja predtretmana dolazi do tamnjenja ispitivanih uzoraka, iako vizualno razlike između skupina uzoraka nisu značajne.
8. ΔE se povećava sa porastom trajanja predtretmana pa je stoga najveća vrijednost ΔE zabilježena kod uzoraka podvrgnutih ultrazvučnom predtretmanu u trajanju od 50 minuta.
9. Tvrdća uzoraka se smanjuje sa porastom trajanja predtretmana i najmanja je kod uzorka obrađenog ultrazvukom u trajanju od 50 minuta.

6. LITERATURA

- Anonymus 1. https://en.wikipedia.org/wiki/Butternut_squash Pristupljeno 28. srpnja 2017
- Anonymus 2, 3, 4. <https://www.agroklub.com/> datum nepoznat
- Barba, F.J., Brnčić M., Panchev, I.N., Dimitrov, D.A., Puertolas, E., Athes-Dutour, V., Moussa, M., Spuchon, I. (2015) Ultrasound-Assisted Extraction. In Food Waste Recovery: Processing technologies and industrial techniques. Edited by Charis M. Galanakis. Published by ELSEVIER SCIENCE.
- Bosiljkov, T., Brnčić, M., Tripalo, B., Karlović, S., Ukrainczyk, M., Ježek, D., Rimac Brnčić, S. (2009) Impact of ultrasound – enhanced homogenization on physical properties of soybean milk. *Proceedings of the ninth International Conference on Chemical & Process Engineering ICHEAP* **9**, 1029-1034.
- Bosiljkov T., Tripalo B., Brnčić M., Ježek D., Karlović S., Jaguš I. (2010) Influence of High Intensity Ultrasound With Different Probe Diameter on the Degree of Homogenization (variance) and Physical Properties of cow Milk. *African Journal of Biotechnology* **10** (1) pg. 34-41.
- Brnčić, M., Tripalo, B., Ježek, D., Semenski, D., Drvar, N., Ukrainczyk, M. (2006) Effect of twin-screw extrusion parameters on mechanical hardness of direct-expanded extrudates. *Sadhana* **31** (5), 527-536.
- Brnčić, M., Tripalo, B., Penava, A., Karlović, D., Ježek, D., Vikić Topić, D., Karlović, S., Bosiljkov, T. (2009) Primjena ultrazvuka visokog intenziteta pri obradi hrane. *Hrv. Čas. Preh. Tehn. Biotehnol. Nutr.* **4** (1-2), 32-37.
- Brnčić, M., Karlović, S., Rimac Brnčić, S., Penava, A., Bosiljkov, T., Ježek, D., Tripalo, B. (2010) Textural properties of infra red dried apple slices as affected by high power ultrasound pre-treatment. *African Journal of Biotechnology* **9** (41), 6907-6915.
- Brnčić M., Bosiljkov T., Ukrainczyk M., Tripalo B., Rimac B.S., Karlović S., Karlović D., Ježek D., Vikić T.D. (2011) Influence of Whey Protein Addition and Feed Moisture Content on Chosen Physicochemical Properties of Directly Expanded Corn Extrudates; *Food and Bioprocess Technology: an International Journal*, **4** (7) 1296-1306.

- Carbonell Capella, J., Šic Žlabur, J., Rimac Brnčić, S., Barba F., Grimi, N., Koubaa, M., Brnčić, M., Vorobiev, E. (2017) Electrotechnologies, microwaves, and ultrasounds combined with binary mixtures of ethanol and water to extract steviol glycosides and antioxidant compounds from *Stevia rebaudiana* leaves. *Journal of Food Processing and Preservation*. DOI 10.1111/jfpp.13179
- Doymaz, L. (2007) The kinetics of forced convective air – drying of pumpkin slices. *Journal of Food Engineering*, **79**, 243-248.
- Dujmić F., Brnčić M., Karlović S., Bosiljkov T., Ježek D., Tripalo B., Mofardin I. (2013) Ultrasound-Assisted Infrared Drying of Pear Slices: Textural Issues. *Journal of Food Process Engineering*, **36**, 397–406.
- Fernandes Fabiano, A. N., Linhares Jr. Francisco, E., Rodrigues, S. (2008) Ultrasound as pre-treatment for drying of pineapple. *Ultrasonic Sonochemistry* **15**, 1049-1054.
- Fernandes, F. A. N., Rodrigues, S. (2007) Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: dehydration of banana. *Journal of Food Engineering* **82**, 261-267.
- Gogate, P. R., Tayal, K. R., Pandit, A. B. (2006) Cavitation; A technology on the horizon. *Current Science* **91**, 5-16.
- Gonzáles, E., Montenegro, M. A., Nazareno, M. A. (2001) Carotenoid composition and vitamin A value of an Argentinian squash (*Cucurbita moschata*), **51** (4), 395-399.
- Jacobo-Valenzuela, N., Maróstica-Junior, M. R., Zazueta-Morales, J., Gallegos-Infante, J.A. (2011) Physicochemical, technological properties, and health-benefits of *Cucurbita moschata*. *Food Research International* **44**, 2587-2593.
- Jacobo-Valenzuela, N., Zazueta Morales, J.J., Pérez-Castañeda, V., Camacho-Hernández, I. L., Gallegos-Infante, J. A., Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F. (2008) Rediscovering Winter Squash (*Cucurbita moschata*) as a Magic Food in Sinaloa State. 475-478.
- Jeličić I., Božanić R., Brnčić M., Tripalo B. (2012) Influence and comparison of thermal, ultrasonic and thermo-sonic treatments on microbiological quality and sensory properties of rennet cheese whey. *Mljekarstvo*, **62**, 165-178.
- Ježek D., Tripalo B., Brnčić M., Karlović, D., Rimac Brnčić, S., Vikić-Topić D., Karlović, S. (2008) Dehydration of celery by infra red drying, *Croatica Chemica Acta* **81**, (2), 325-331.

- Karlović, S. (2013) Određivanje teksturnih svojstava i matematičko modeliranje sušenja voća prethodno obrađenoga ultrazvukom visokoga intenziteta, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Prehrambeno-biotehnološki fakultet, Zagreb.
- Knorr, D., Ade-Omowaye, B. I. O., Heinz, V. (2002) Nutritional improvement of plant foods by non-thermal processing. *Proceedings of the nutrition society* **61**, 311-318.
- Kudra, T., Mujumdar, A. S. (2009) Sonic drying. U: Advanced drying technologies, 2.izd., CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton (USA), 199-224.
- Kujipers, W. A., van Eck, D., Kemmere, M. F., Keurentjes, J. T. F. (2002) Cavitation – induced reactions in high – pressure carbon dioxide. *Science* **298** (5600), 1969-1971.
- Leadley, C., Williams, A. (2002) Power ultrasound – current and potential applications for food processing. Review No 32, Campden and Chorleywood Food Research Association.
- Mason, T. J., Paniwnyk, L., Lorimer, J. P. (1996) The uses of ultrasound in food technology. *Ultrasonics Sonochemistry* **3**, 253.
- McClements, D. J. (1995) Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology* **6**, 293.
- Mothibe, K. J., Zhang, M., Nsor-atindana, J., Wang, J. C. (2011) Use of ultrasound pretreatment in drying of fruits: drying rates, quality attributes and shelf life extension. *Drying Technology* **29** (14), 1611-1621.
- Mujumdar, A. S. (1995) Handbook of Industrial Drying. *Drying Technology* **6**, 571-573.
- Mujumdar, A. S. (2004) Research and Development in Drying: Recent Trends and Future Prospects. *Drying Technology* **22** (1-2), 1-26.
- Mujumdar, A. S. (2006) An overview of innovation in industrial drying: Current status and R&D needs. *Transport in porous media* **66** (1-2), 3-18.
- Mulet, A., Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Riera, E. (2011) Ultrasound-Assisted Hot Air Drying of Foods. U: Ultrasound Technologies for Food and Bioprocessing (Feng, H., Barbosa-Canovas, G., Weiss, J.), Springer Science + Business Media LLC, Valencia, 511-515.
- Musielak, G., Mierzwa, D., Kroehnke, J. (2016) Food drying enhancement by ultrasound – A review. *Trends in Food Science & Technol.* **56**, 126-133

- Ninčević Grassino A., Brnčić M., Vikić-Topić D., Roca S., Dent M., Rimac Brnčić S. (2016) Ultrasound Assisted Extraction and Characterization of Pectin from Tomato Waste. *Food Chemistry*, 198, 93-100.
- Riera, E., Golas, Y., Blanco, A., Gallego, J. A., Blasco, M., Mulet, A. (2003) Mass transfer enhancement in supercritical fluids extraction by means of power ultrasound. *Ultrason. Sonochem.* **11** (3-4), 241-244.
- Roselló-Soto, E., Galanakis, C.M., Brnčić, M., V. Orlie, Trujillo F. J., Mawson, R., Knoerzer, K., Tiwari, B.K., Barba, F.J. (2015) Clean Recovery of Antioxidant Compounds from Plant Foods, By-Products and Algae Assisted by Ultrasounds Processing: Modeling approaches to optimize processing conditions. *Trends in Food Science & Technology*. 42, 134-149.
- Šic Žlabur, J., Voća, S., Dobričević, N., Brnčić, M., Dujmić, F., Rimac Brnčić, S., (2015) Optimization of Ultrasound assisted extraction of functional ingredients from Stevia rebaudiana Bertoni leaves. *International Agrophysics*, 29, 231-237.
- Tamer, C. E., Incedayi, B. Parseker, A. S., Yonak, S., Copur. O. U. (2010) Evaluation of several quality criteria of low calorie pumpkin dessert, **38** (1), 76-80.
- Vareš, M. (2004) Principi konzerviranja namirnica, Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd.
- Xiao, D. C. (2008) Food Drying Fundamentals, Drying Technologies in Food Processing (Xiao, D. C., Mujumdar, A. S. ured.). Singapore: Blackwell Publishing, 1-55.
- Yao, Y. (2016) Enhancement of mass transfer by ultrasound: Application to adsorbent regeneration and food drying/dehydration. *Ultrasonic Sonochemistry*, 1.
- Yost, M., Abu-Ali, J. M., Barringer, S. A. (2006) Kinetics of potato color and texture development during baking, frying and microwaving with the addition of liquid smoke. *Journal of Food Science* **71**, 364-369.
- Zhang, Z., Liu, Z., Liu, C., Li, D., Jiang, N., Liu, C. (2016) Effects of Ultrasound Pretreatment on Drying Kinetics and Quality Parameters of Button Mushroom Slices. *Drying Technology* **34**, 1-4.
- Zinoviadou, K.G., Galanakis, C.M, Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N., Mota, M.J., Saraiva, J., Patras, A., Tiwari, B.K., Barba, F.J. (2015) Fruit juice sonication: Implications on food safety, physicochemical and nutritional properties. *Food Research International*. **77**, 743-752.

- Çakmak, R. S., Tekeoglu, O., Bozkir, H., Ergun, A. R., Baysal, T. (2016) Effects of electrical and sonication pretreatments on the drying rate and quality of mushrooms. *LWT – Food Science and Technology* **69**, 197-202.